

Manual de laboratorio y trabajo práctico

Jesús Vicente Riquelme



Manual de laboratorio y trabajo practico by Jesús Vicente Riquelme is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License.

Manual de laboratorio y trabajo práctico

Jesús Vicente Riquelme

2015

Índice general

1. Magnitudes y unidades	1
1.1. Magnitudes	1
1.1.1. Magnitud	1
1.1.2. Magnitud escalar	1
1.1.3. Magnitud vectorial	1
1.1.4. Representación de una magnitud vectorial	1
1.1.5. Operaciones con magnitudes vectoriales	4
1.2. Unidades del SI fundamentales y derivadas	8
1.2.1. Unidad	8
1.2.2. Sistema de unidades	8
1.2.3. Magnitudes fundamentales y sus unidades en el SI	8
1.2.4. Magnitudes derivadas y sus unidades en el SI	8
1.2.5. Análisis dimensional de una magnitud	9
1.2.6. Unidades fuera del SI	9
1.2.7. Cambio de unidades	10
1.3. Referencias y fuentes de información	11
2. Medición en la física: Conceptos	12
2.1. La medición	12
2.2. Precisión y exactitud	12
2.2.1. Exactitud	12
2.2.2. Precisión	12
2.3. Error e incertidumbre	13
2.3.1. Error absoluto y relativo	13
2.3.2. Error aleatorio y sistemático	14
2.3.3. Incertidumbre	15
2.3.4. Profundización	15
2.4. Referencias y fuentes de información	16
3. Incertidumbre, errores y expresión de la medición	17
3.1. Medición a partir de un dato u observación	17
3.1.1. Cuando la medida ha sido dada	17
3.1.2. Cuando la medida ha sido obtenida directamente	17
3.2. Medición a partir de varias observaciones	18
3.3. Varias incertidumbres en una medición	18
3.4. Incertidumbre relativa y porcentual	19
3.5. Expresión general de la medición	19
3.6. Propagación de las incertidumbres	20
3.6.1. Suma y resta	20
3.6.2. Multiplicación y división	20

3.6.3.	Potencias y radicales	20
3.7.	Cifras significativas	21
3.7.1.	Reglas del redondeo	21
3.7.2.	Redondeo en sumas, restas, multiplicaciones y divisiones	22
3.8.	Notación científica	23
3.9.	Orden de magnitud	23
3.10.	Prefijos de unidades: Múltiplos y submúltiplos.	24
3.11.	Referencias y fuentes de información	24
4.	Representación gráfica y ajuste	25
4.1.	Representación gráfica	25
4.1.1.	Ajuste de una curva a los datos	26
4.2.	Ajuste lineal sin barras de error	26
4.2.1.	Ajuste lineal gráficamente	26
4.2.2.	Ajuste lineal por mínimos cuadrados	26
4.2.3.	Ajuste lineal con Excel	27
4.2.4.	Ajuste lineal con gnuplot	27
4.3.	Ajuste lineal con barras de error	28
4.3.1.	Ajuste lineal gráficamente	28
4.3.2.	Ajuste lineal con barras de error con gnuplot	30
4.4.	Interpolación y Extrapolación	31
4.5.	Linealización	31
4.6.	Otros ajustes	31
4.6.1.	Otros ajustes con Excel	31
4.6.2.	Otros ajustes con Solver	31
4.6.3.	Otros ajustes con gnuplot	31
4.7.	Referencias y fuentes de información	32
5.	Método Científico	33
6.	Informe de trabajo practico	34
7.	Requisitos y recomendaciones de seguridad	36
7.1.	Normas de laboratorio y trabajos prácticos	36
7.2.	Indicaciones en caso de accidente	38
7.2.1.	Vertidos accidentales	38
7.2.2.	Salpicaduras en la piel	38
7.2.3.	Salpicaduras, lesiones, objetos o agentes químicos en los ojos	38
7.2.4.	Salpicaduras, lesiones, objetos o agentes químicos en la ropa	39
7.2.5.	Ingestión o inhalación	39
7.2.6.	Incendio	39
7.2.7.	Cortes y heridas	39
7.2.8.	Contusión	40
7.2.9.	Quemadura	40
7.2.10.	Quemadura Química o absorción de agentes químicos por la piel	40
7.2.11.	Lesiones producidas por la electricidad	40
7.2.12.	Reacciones alérgicas	41
7.3.	Equipos de protección individual y colectiva	41
7.3.1.	Ropa de trabajo	41
7.3.2.	Protección de las manos	41
7.3.3.	Protección de los ojos	41
7.3.4.	Protección respiratoria	41

7.3.5.	Vitrina de gases	42
7.3.6.	Duchas y lavajos	42
7.4.	Gestión de residuos	43
7.5.	Señalización de seguridad	44
7.5.1.	Señales de advertencia	44
7.5.2.	Señales de prohibición	44
7.5.3.	Señales de obligación	45
7.5.4.	Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios	45
7.5.5.	Señales de salvamento o socorro	46
7.5.6.	Riesgos, caídas, golpes y choques	46
7.6.	Etiquetado de productos químicos: Pictogramas y ficha de seguridad (FDS)	47
7.6.1.	Pictogramas: Señales de etiquetado de sustancias peligrosas	47
7.6.2.	Ejemplo de etiquetado	48
7.6.3.	Señales de etiquetado SGA	48
7.7.	ficha de cumplimiento de las Normas de laboratorio y trabajos prácticos	49
7.8.	ficha de incidencia	51
7.9.	Contactos para Urgencias	53
7.10.	Referencias y fuentes de información	53
A.	Gráficas con Excel	54
A.1.	Diagrama de dispersión	54
A.2.	Definir rangos, títulos y tipo de gráfico	56
A.3.	Marcas de eje y líneas de cuadrícula	59
A.4.	Añadir otra serie al diagrama	64
A.5.	Gráfica de una función a partir de su ecuación	65
A.6.	Diagrama de dispersión con barras de error con Excel	69
A.7.	Ajuste lineal con Excel	73
A.8.	Otros ajustes con Excel	74
A.9.	Importar y exportar datos. Archivos CSV	77
A.9.1.	Exportar a CSV	77
A.9.2.	Abrir archivos CSV con Excel	79
A.9.3.	Importar datos CSV a un Libro Excel que ya existe	80
B.	Gráficas con GNUPLOT	82
B.1.	Descargar e instalar gnuplot	82
B.2.	Diagrama de dispersión	82
B.3.	Diagrama de dispersión con barras de error con gnuplot	83
B.4.	Barras de error con gnuplot	84
B.5.	Ajuste lineal con gnuplot	86
B.6.	Ajuste lineal con barras de error con gnuplot	87
B.7.	Otros ajustes con gnuplot	88
B.8.	Input de archivos CSV en gnuplot	90
B.9.	Otros comandos gnuplot	92
C.	Ajuste con Solver	94
C.1.	Habilitar Solver en Excel	94
C.2.	Presentación de datos para el ajuste	94
C.3.	Diagrama y gráfica para el ajuste	95
C.4.	Ajuste con Solver	96

D. Incertidumbre expandida con la <i>distribución t de Student</i>	98
D.1. Distribución t de Student	100
D.2. Distribución Normal	101
E. Regresión lineal simple	102
F. Listado de frases R y S, riesgos y consejos	103
F.1. Frases R simples	103
F.2. Combinación de frases R	105
F.3. Frases S simples	108
F.4. Combinación de frases S	110

Capítulo 1

Magnitudes y unidades

1.1. Magnitudes

1.1.1. Magnitud

Es toda propiedad atribuida a un fenómeno, cuerpo o sistema que pueda ser cuantificada, por ejemplo longitud, masa, densidad...

El *valor* de de una *magnitud particular*, por ejemplo la longitud de una varilla, se expresa generalmente, en forma de una unidad de medida multiplicada por un número.

1.1.2. Magnitud escalar

Son magnitudes que quedan completamente determinadas mediante un número y una unidad. Son magnitudes escalares, el tiempo, la temperatura, la distancia recorrida, la energía y la celeridad...

1.1.3. Magnitud vectorial

Son aquellas magnitudes que para ser determinadas deben expresarse mediante un número, (módulo), una unidad y una dirección (dirección y sentido). Las magnitudes vectoriales se representan con una flecha encima $\vec{v}$ y sus módulos $|\vec{v}|$ o simplemente v .

Son magnitudes vectoriales, la posición, el desplazamiento, la velocidad, la aceleración, fuerza, momento lineal, momento angular y momento de una fuerza ...

1.1.4. Representación de una magnitud vectorial

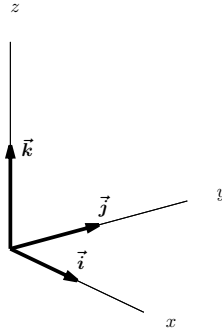
La representación gráfica de una magnitud vectorial es un vector o segmento orientado (flecha). El origen del vector es el punto de aplicación, la longitud del vector representa el módulo. El segmento y su punta indican la dirección y sentido.

Las *componentes de un vector* son el conjunto de parámetros que lo determinan en un sistema de coordenadas, generalmente el cartesiano. Sirven para representarlo y operar con él de forma analítica. La cantidad de parámetros suficiente para determinar un vector es igual a la dimensión del espacio donde se encuentre.

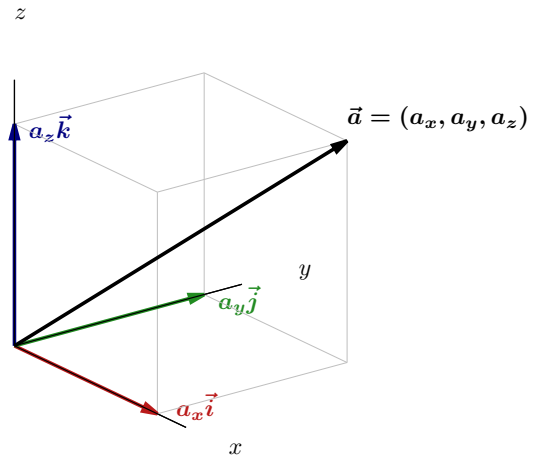
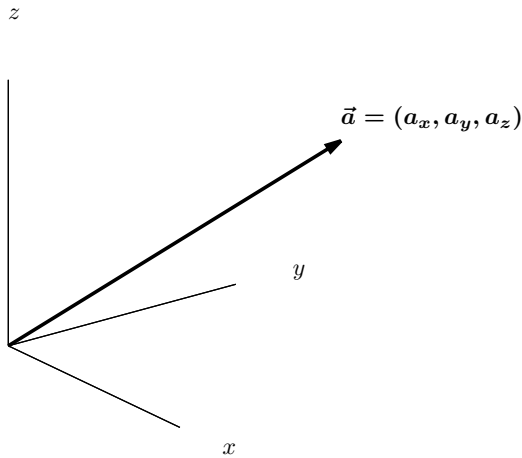
Representación en coordenada cartesianas: Componentes de un vector

El sistema de referencia cartesiano consta de un punto llamado origen y tres ejes ortogonales x, y, z que se cortan en el origen. La disposición de los ejes es tal que se cumpla la definición del Producto vectorial.

La *base del espacio vectorial* $\{\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}\}$ son tres vectores ortogonales, de módulo igual a la unidad, con las direcciones de los ejes x, y, z respectivamente y sentido positivo.



Todo vector $\vec{a}$ puede representarse como combinación lineal de la base $\{\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}\}$, es decir expresarse del siguiente modo $\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$ donde los escalares (a_x, a_y, a_z) son *las componentes del vector*. Corresponden a las proyecciones sobre los vectores de la base.



Para obtener las *componentes de un vector* se pueden seguir los siguientes pasos:

1. Se dibuja un sistema de referencia cartesiano con origen O , en el origen de del vector.
2. Se determinan las coordenadas del extremo del vector (x, y, z) .
3. Estas coordenadas (x, y, z) son las componentes del vector (a_x, a_y, a_z) .

Toda magnitud debe expresarse con su unidad, por ejemplo una velocidad puede expresarse como:

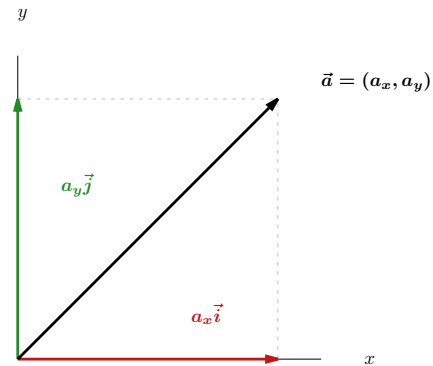
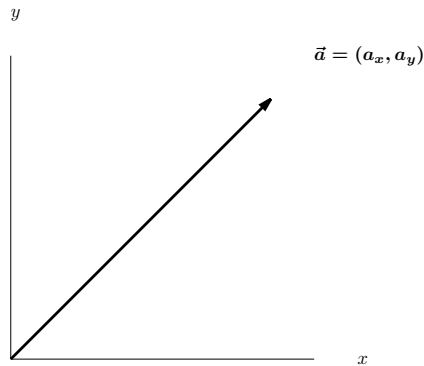
$$\vec{v} = (2, 2, 0, 7, -1, 3) \frac{m}{s}$$

$$\vec{v} = (2, 2 \vec{i} + 0, 7 \vec{j} - 1, 3 \vec{k}) \frac{m}{s}$$

$$\vec{v} = 2, 2 \vec{i} \frac{m}{s} + 0, 7 \vec{j} \frac{m}{s} - 1, 3 \vec{k} \frac{m}{s}$$

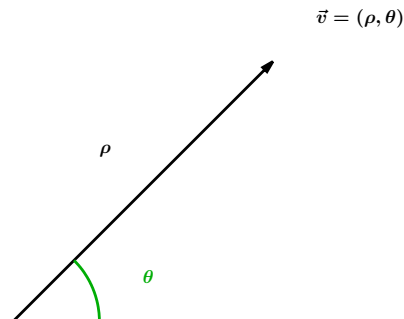
$$\vec{v} = 2, 2 \frac{m}{s} \vec{i} + 0, 7 \frac{m}{s} \vec{j} - 1, 3 \frac{m}{s} \vec{k}$$

Para el espacio en dos dimensiones tomamos la base ortonormal es $\{\vec{i}, \vec{j}\}$ y así todo vector del plano $\vec{v}$ tiene dos componentes (v_x, v_y) . Este tipo de coordenadas cartesianas también se denomina coordenadas rectangulares.



Representación en coordenada polares 2D

Este sistema de referencia consta de un punto llamado *polo* y un *eje polar* que pasa por el polo. Cada vector del plano queda representado por un módulo ρ y un argumento θ , que es el ángulo que forma con el eje. Se representa $\vec{v} = (\rho, \theta)$ y también $\vec{v} = \rho_\theta$.



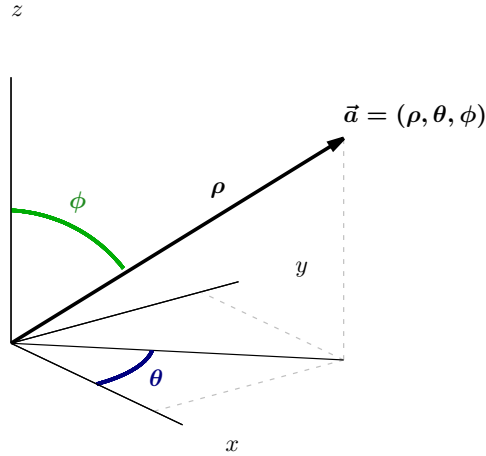
Cambio de coordenadas polares a rectangulares. $x = \rho \cdot \cos(\theta)$; $y = \rho \cdot \sin(\theta)$

Cambio de coordenadas rectangulares a polares. $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$; $\theta = \arctg\left(\frac{y}{x}\right)$

Representación en coordenada esféricas 3D

A partir del sistema de referencia cartesiano. Cada vector queda determinado por un módulo ρ y dos ángulos, θ y ϕ . $\vec{v} = (\rho, \theta, \phi)$

- θ de 0 a 2π Es el ángulo que forma el eje x con la proyección del vector en el plano xy .
- ϕ de 0 a π Es el ángulo que forma el eje z con el vector (a veces se toma su complementario).

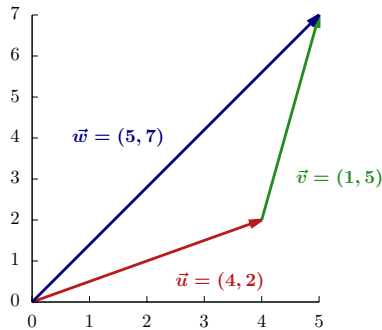


1.1.5. Operaciones con magnitudes vectoriales

Suma

Sean $\vec{u}$ y $\vec{v}$ dos vectores, el vector suma $\vec{w} = \vec{u} + \vec{v}$ se puede obtener de los siguientes modos.

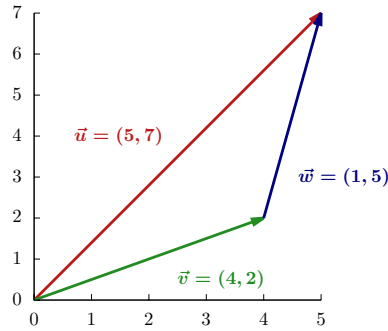
- Gráficamente: Se coloca el origen de $\vec{v}$ sobre el extremo de $\vec{u}$. El vector suma $\vec{w}$ tiene el mismo origen que $\vec{u}$ y el mismo extremo que $\vec{v}$.
- Analíticamente: Se suman las componentes $(w_x, w_y, w_z) = (u_x + v_x, u_y + v_y, u_z + v_z)$.



Resta

Sean $\vec{u}$ y $\vec{v}$ dos vectores, el vector resta $\vec{w} = \vec{u} - \vec{v}$ se puede obtener de los siguientes modos.

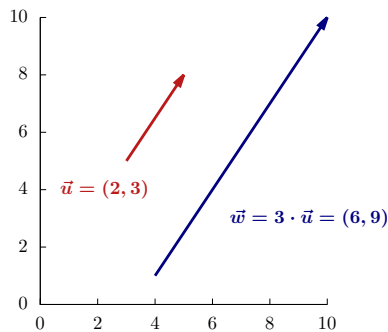
- Gráficamente: Se coloca el origen de $\vec{v}$ sobre el origen de $\vec{u}$. El vector resta $\vec{w}$ tiene por origen el extremo de $\vec{v}$ y por extremo el extremo de $\vec{u}$.
- Analíticamente: Se restan las componentes $(w_x, w_y, w_z) = (u_x - v_x, u_y - v_y, u_z - v_z)$.



Multiplicación por un escalar

Sean $\vec{u}$ un vector y k un escalar, el vector $\vec{w} = k \cdot \vec{u}$ tiene k veces el módulo de $\vec{u}$, igual dirección y su sentido que $\vec{u}$ si k es positivo y opuesto si k es negativo. El vector $\vec{w}$ se puede obtener de los siguientes modos.

- Gráficamente: Se disponen tantos vectores $\vec{u}$ como indique k , uno a continuación del otro. Si k es negativo, se orientan en dirección opuesta. El vector resultante $\vec{w}$ es la suma de todos ellos.
- Analíticamente: Se multiplica cada componente por k $(w_x, w_y, w_z) = (k \cdot u_x, k \cdot u_y, k \cdot u_z)$.



Producto escalar

Sean $\vec{u}$ y $\vec{v}$ dos vectores, el resultado es un escalar $k = \vec{u} \cdot \vec{v}$ que se puede obtener de las siguientes maneras.

- Como la suma de los productos de las componentes homólogas $k = u_x \cdot v_x + u_y \cdot v_y + u_z \cdot v_z$.
- Como el producto de los módulos por el coseno del ángulo que forman $k = |\vec{u}| \cdot |\vec{v}| \cdot \cos(\theta)$.

Igualando ambas definiciones, se puede calcular el ángulo que forman dos vectores, a partir de sus componentes. $|\vec{u}| \cdot |\vec{v}| \cdot \cos(\theta) = (u_x \cdot v_x + u_y \cdot v_y + u_z \cdot v_z)$

El producto escalar de dos vectores perpendiculares es nulo.

Producto vectorial

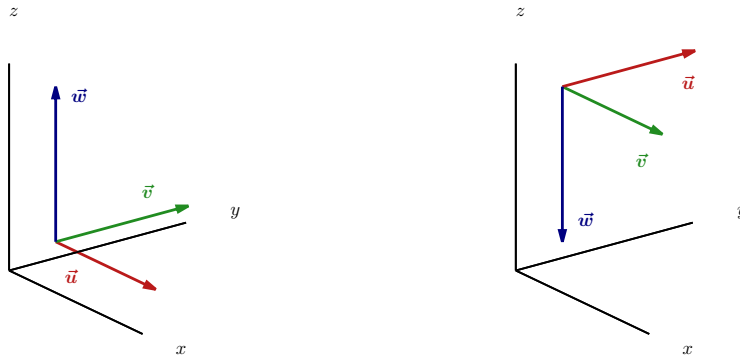
Sean $\vec{u}$ y $\vec{v}$ dos vectores, el resultado es otro vector $\vec{w} = \vec{u} \times \vec{v}$ que se puede obtener de las siguientes maneras:

- Como el resultado del módulo

$$\vec{w} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ u_x & u_y & u_z \\ v_x & v_y & v_z \end{vmatrix}$$

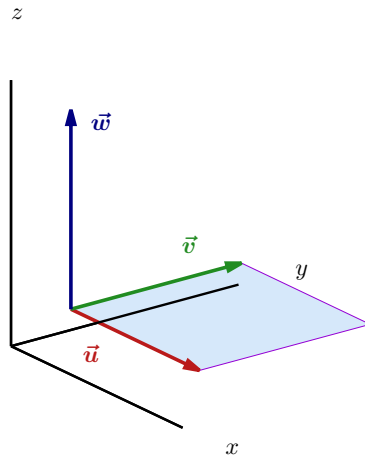
Agrupando términos $\vec{w} = (u_y v_z - v_y u_z, v_x u_z - u_x v_z, u_x v_y - v_x u_y)$.

- Calculando el módulo y la dirección de $\vec{w}$ por separado: El módulo es $|\vec{w}| = |\vec{u}| \cdot |\vec{v}| \cdot \text{sen}(\theta)$, su dirección es perpendicular a los dos vectores $\vec{u}$ y $\vec{v}$, y su sentido viene dado por la *regla de la mano derecha* o *regla del sacacorchos*.



Se cumple que $\vec{i} \times \vec{j} = \vec{k}$, $\vec{j} \times \vec{k} = \vec{i}$, $\vec{k} \times \vec{i} = \vec{j}$, $\vec{i} \times \vec{i} = 0$, $\vec{j} \times \vec{j} = 0$, $\vec{k} \times \vec{k} = 0$.

El modulo del producto vectorial de dos vectores, se interpreta geométricamente como la superficie del paralelogramo que definen.



Producto mixto

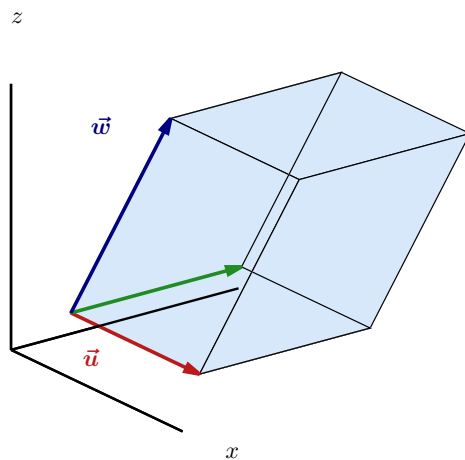
Sean $\vec{u}$, $\vec{v}$ y $\vec{w}$ tres vectores, el resultado es un escalar $k = [\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}]$ que se define como:

$$[\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}] = \vec{v} \cdot (\vec{v} \times \vec{w})$$

Y se puede calcular directamente, como el determinante de las componentes

$$[\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}] = \begin{vmatrix} u_x & u_y & u_z \\ v_x & v_y & v_z \\ w_x & w_y & w_z \end{vmatrix}$$

El modulo del producto mixto de tres vectores, se interpreta geométicamente como el volumen del paralelepípedo que definen.



1.2. Unidades del SI fundamentales y derivadas

1.2.1. Unidad

Es un patrón establecido para una magnitud que sirve para medir por comparación. En la medición se cuantifica un caso particular de la magnitud, por ejemplo la longitud de una varilla, indicando cuántas veces se repite el patrón referencia o unidad.

1.2.2. Sistema de unidades

Sistema de unidades fundamentales: Muchas magnitudes dependen unas de otras por lo que no es necesario definir un patrón de medida para cada una, basta con definir las unidades de un conjunto de magnitudes independientes, llamadas **magnitudes fundamentales**, a partir de las cuales pueda expresarse el resto, **magnitudes derivadas**.

Sistema Internacional de Unidades: Es el conjunto de unidades aceptado universalmente. El organismo encargado de su definición y de otros aspectos de la metrología es el *Bureau international des poids et mesures (BIPM)* y en España el *Centro Español de Metrología*.

1.2.3. Magnitudes fundamentales y sus unidades en el SI

Magnitud	Símbolo	Símbolo dimensión	Unidad	Símbolo
longitud	$l, x, r, etc.$	L	metro	m
masa	m	M	kilogramo	kg
tiempo	t	T	segundo	s
corriente eléctrica	I, i	I	amperio	A
temperatura	T	Θ	kelvin	K
cantidad de materia	n	N	mol	mol
intensidad luminosa	I_v	J	candela	cd

Cuadro 1.1: Magnitudes fundamentales y sus unidades

1.2.4. Magnitudes derivadas y sus unidades en el SI

Las unidades derivadas pueden expresarse como combinación de las fundamentales.

Magnitud	Símbolo	Unidad SI	Símbolo	Unidades básicas
área	A	metro cuadrado	m^2	m^2
volumen	V	metro cúbico	m^3	m^3
velocidad	v	metro por segundo	$m \cdot s^{-1}$	$m \cdot s^{-1}$
aceleración	a	metro por segundo al cuadrado	$m \cdot s^{-2}$	$m \cdot s^{-2}$
densidad	ρ	kilogramo por metro cúbico	$kg \cdot m^{-3}$	$kg \cdot m^{-3}$
fuerza	F	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
presión	P	pascal	Pa	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
energía, trabajo, calor	E, W, Q	julio, joule	J	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
potencia	P	vatio, watt	W	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
carga eléctrica	Q	culombio, coulomb	C	$A \cdot s$
diferencia de potencia eléctrica, fuerza electromotriz	V, fem, ε	voltio, volt	V	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
resistencia eléctrica	R	ohmio, ohm	Ω	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
conductancia eléctrica	G	siemens	S	$kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3 \cdot A^2$
capacidad eléctrica, capacitancia	C	faradio, farad	F	$kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^4 \cdot A^2$

flujo magnético	Φ	weber	Wb	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
densidad flujo magnético (inducción magnética)	B	tesla	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
inductancia	L	henrio, henry	H	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
temperatura Celsius	T	grado Celsius	$^{\circ} C$	K
número de onda	$\sigma, \tilde{\nu}$	metro a la menos uno	m^{-1}	m^{-1}
frecuencia	f, ν	hercio, hertzio, hertz	Hz	s^{-1}
actividad radiactiva	A	becquerelio, becquerel	Bq	s^{-1}
ángulo plano	$\alpha, \beta, \theta \dots$	radian, rad	1	$m \cdot m^{-1}$
ángulo sólido	Ω	estereorradián, steradian	1	$m^2 \cdot m^{-2}$

Cuadro 1.2: Magnitudes derivadas y sus unidades

1.2.5. Análisis dimensional de una magnitud

Las magnitudes fundamentales tienen dimensión propia. La dimensión de las magnitudes derivadas es igual al producto de las básicas con exponentes según la ecuación que las relaciona. Ejemplo, fuerza $F = m \cdot a$ tiene dimensión $\dim F = LMT^{-2}$.

$$\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\delta} \Theta^{\varepsilon} N^{\zeta} J^{\eta} \quad \text{o también} \quad [Q] = [L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\delta} \Theta^{\varepsilon} N^{\zeta} J^{\eta}]$$

1.2.6. Unidades fuera del SI

Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia en el SI
tiempo	minuto	min	60 s
tiempo	hora	h	3 600 s
tiempo	día	d	86 400 s
ángulo plano	grado	$^{\circ}$	$\pi/180 \text{ rad}$
área	hectárea	ha	10^4 m^2
volumen	litro	l	10^{-3} m^3
masa	tonelada	t	10^3 kg
energía	electronvoltio	eV	$1,602\,176\,53\,(14) \times 10^{-19} \text{ J}$
presión	bar	bar	10^5 Pa
razón entre cantidades	decibelio	dB	$10 \times \log_{10} \text{delarazn}$

Cuadro 1.3: Ejemplos de magnitudes fuera del sistema internacional

1.2.7. Cambio de unidades

Generalmente, para cambiar de unidad, se hace un cambio de escala multiplicando por un factor de conversión. El factor se establece a partir de una equivalencia conocida entre las dos unidades.

Por ejemplo, $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

Si queremos pasar una cantidad de *bares* a *pascales* utilizamos el factor de conversión. $\left(\frac{10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}}\right)$

En cambio, si queremos pasar de *pascales* a *bares* utilizamos el factor. $\left(\frac{1 \text{ bar}}{10^5 \text{ Pa}}\right)$

Aplicándolo:

$$101\,325 \text{ Pa} \times \left(\frac{1 \text{ bar}}{10^5 \text{ Pa}}\right) = 1,01325 \text{ bar}$$

$$1,01325 \text{ bar} \times \left(\frac{10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}}\right) = 101\,325 \text{ Pa}$$

Para unidades compuestas se pueden encadenar factores de conversión.

Por ejemplo, $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ y $1 \text{ h} = 3\,600 \text{ s}$

Si queremos pasar de km/h a m/s utilizamos el factor de conversión. $\left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}}\right)$

En cambio si queremos pasar de m/s a km/h utilizamos el factor. $\left(\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}}\right) \left(\frac{3\,600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right)$

Aplicándolo:

$$36 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}}\right) = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \left(\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}}\right) \left(\frac{3\,600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Cuando los ceros de las escalas no están en el mismo punto y las unidades son equivalentes, solo hay que sumar o restar una cantidad constante. Es una traslación de la escala.

Por ejemplo, $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ y el incremento de 1°C es igual al incremento de 1 K .

Se aplica del siguiente modo:

$$100^\circ\text{C} + 273 = 373 \text{ K}$$

$$373 \text{ K} - 273 = 100^\circ\text{C}$$

Cuando los ceros de las escalas no están en el mismo punto y las unidades no son equivalentes, hay que sumar o restar una cantidad constante y aplicar un factor de conversión.

Por ejemplo, $0^\circ\text{C} = 32^\circ\text{F}$ y el incremento de 100°C es igual al incremento de 180°F .

Se aplica del siguiente modo:

$$50^\circ\text{C} \times \left(\frac{180^\circ\text{F}}{100^\circ\text{C}}\right) + 32 = 122^\circ\text{F}$$

$$(122^\circ\text{F} - 32) \times \left(\frac{100^\circ\text{C}}{180^\circ\text{F}}\right) = 50^\circ\text{C}$$

1.3. Referencias y fuentes de información

- *Evaluación de datos de medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida del CEM 2008*
- *Bureau international des poids et mesures (BIPM)* <http://www.bipm.org/en/about-us/> 2015
- *Physics for the IB Diploma. Cambridge. K.A Tzokos. Sixth edition 2014.*
- *Physics for use with the IB diploma programme. Topic 1: Measurements and uncertainties. first Assessment 2016. Michael J.Dickinson 2014*
- *Física 2. SM. J.Puente C.Lara N. Romo.*
- *Física. Edebe. Modalidad Ciencias y Tecnología 2009.*

Capítulo 2

Medición en la física: Conceptos

2.1. La medición

Medición: Conjunto de operaciones que tienen por finalidad determinar el valor de una magnitud particular (mensurando). El *valor verdadero* X , es por naturaleza indeterminado por lo que el resultado obtenido es sólo una *aproximación* o *estimación*. Una expresión completa del resultado de una medición incluye información sobre la *incertidumbre* de medida.

Valor convencionalmente verdadero (de una magnitud particular): Valor atribuido a una magnitud particular. Tienen una incertidumbre aceptable. En ocasiones también se llama *valor asignado*, *mejor estimación* del valor o *valor convencional*.

Las medidas deben ser reproducibles. Un registro de medidas se debe acompañar de una explicación de las magnitudes involucradas, de las condiciones experimentales, del método seguido, del tratamiento de los datos y de las posibles fuentes de error.

2.2. Precisión y exactitud

2.2.1. Exactitud

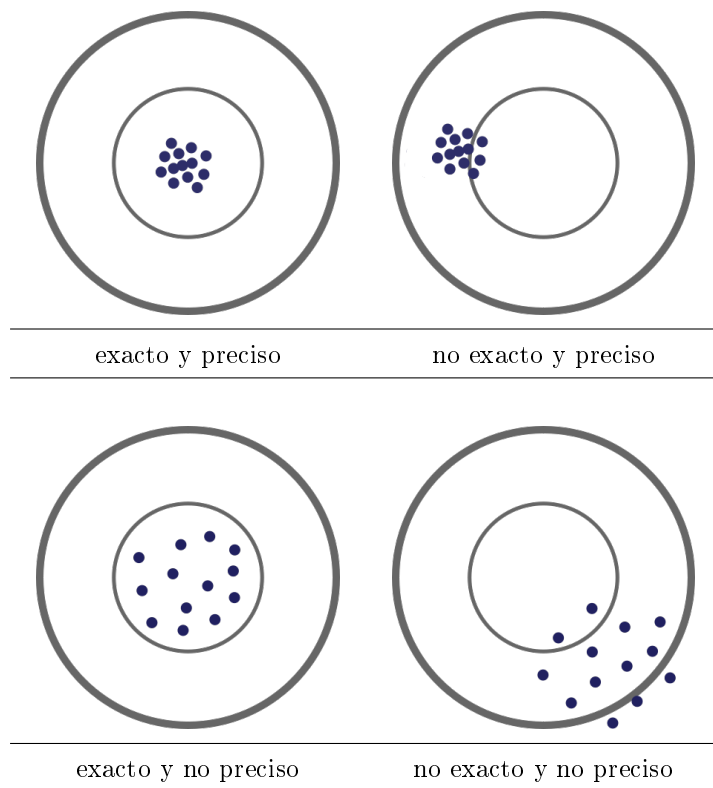
Es el grado de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando. El resultado de una medición será más exacto cuanto menor sea la diferencia entre el **valor medio** de medidas sucesivas y el valor convencionalmente verdadero de la magnitud.

Cuanto menor sea el *error sistemático*, mayor exactitud se puede alcanzar en la medida.

2.2.2. Precisión

Es la proximidad entre medidas sucesivas del mismo mensurando. El resultado de la medición será más preciso cuanto menor sea la dispersión que presentan entre sí los sucesivos resultados de la medición.

Cuanto menor sea el *error aleatorio*, mayor precisión en la medida.



2.3. Error e incertidumbre

2.3.1. Error absoluto y relativo

Error o error absoluto: Es el resultado de la medición x menos el valor verdadero X del mensurando, $E_a = \Delta x = (x - X)$. Como el valor verdadero no se conoce, el error absoluto tampoco se puede determinar. Es un concepto ideal.

En la práctica, se emplea una *cota del error* $K \geq |\Delta x|$. Así se interpreta, que el valor verdadero se encuentra en el intervalo $x + K \geq X \geq x - K$. El error absoluto así expresado, nos proporciona un límite superior y otro inferior donde es muy probable encontrar el valor verdadero del mensurando y es por tanto una incertidumbre, no un error.

Tradicionalmente se han utilizado indistintamente los conceptos *error* e *incertidumbre*. Para evitar confusiones, siempre que se pida el valor de un error o un error absoluto, se seguirán las indicaciones del Capítulo 3 *Incetidumbre, errores y expresión de la medición*, sin necesidad de distinguir entre ambos conceptos. No obstante, cuando sea posible se recomienda utilizar cada término apropiadamente.

Error relativo: Es la relación entre el error absoluto y el valor verdadero del mensurando $E_r = \frac{\Delta x}{X}$.

Como el valor verdadero X y el error absoluto Δx no se pueden determinar, se hace el cociente entre la incertidumbre y la *mejor estimación* conocida. El error así expresado es una *incertidumbre relativa*.

Sin embargo, para evitar confusiones, siempre que se pida el valor de un error relativo, se seguirán las indicaciones del Capítulo 3 *Incetidumbre, errores y expresión de la medición*, sin necesidad de

distinguir entre los conceptos de error e incertidumbre. No obstante, cuando sea posible se recomienda utilizar cada término apropiadamente.

Resolución de un instrumento de medida Es la menor diferencia de indicación que puede distinguirse de forma significativa. Para un instrumento analógico, por ejemplo una cinta métrica, es la mitad de la unidad de la menor división. Para un dispositivo con visualizador digital, corresponde a la unidad de la menor posición numérica.

La resolución suele corresponder al *error de lectura* de un instrumento. Contribuye a la componente aleatoria del error pero no es su única fuente.

2.3.2. Error aleatorio y sistemático

Error aleatorio: Es la desviación estocástica en el resultado de una medición. Se debe a variaciones aleatorias en las condiciones experimentales y del observador. Esta componente del error hace que al repetir sucesivas mediciones del mismo mensurando no obtengamos el mismo resultado.

Su efecto se puede disminuir incrementando el número de mediciones y tomando como *mejor estimación* la media aritmética de todas ellas.

Aunque estos errores son inevitables y en un experimento no se conocen todas las fuentes de error aleatorio, sí se puede hacer un tratamiento estadístico para cuantificar su influencia.

El error aleatorio es igual al error total menos el error sistemático.

Error sistemático: Puede definirse como la diferencia entre la *mejor estimación* de gran cantidad de observaciones y el valor real. Son errores de naturaleza determinada y en sucesivas mediciones, afectan al resultado en el mismo sentido. Se deben al instrumento de medida o al método empleado.

Generalmente, el error sistemático no se conoce porque en las mismas condiciones experimentales y con la única información de las estimaciones realizadas, no se puede determinar su influencia en el resultado. Para identificar su existencia se pueden comparar mediciones realizadas con diferentes instrumentos o métodos.

Si se conociese alguna estimación del error sistemático se corrige en las observaciones, antes de proceder con el tratamiento del error aleatorio.

Posibles fuentes de error sistemático:

- Mal calibrado del instrumento de medida.
- Uso del instrumento fuera de las condiciones de buen funcionamiento. Por ejemplo a presiones o temperaturas superiores a las recomendadas.
- Mal uso del instrumento de medida. Cuando el error se produce por no observar perpendicularmente la escala, se denomina *error de paralaje*.

Resultado corregido de una medición: Es cuando se ha corregido el error sistemático. Se asume que el resultado de una medición ha sido corregido por todos los efectos sistemáticos identificados como significativos, tras haber hecho todo lo posible para su identificación.

¿Aleatorio o sistemático? No se puede decir que una fuente de error sea puramente aleatoria o sistemática, su clasificación se hace según el efecto en la medición particular. Por ejemplo, pulsar un botón para realizar una lectura, podría considerarse una fuente de error aleatorio pero puede suceder que la tendencia del experimentador sea pulsarlo anticipadamente y entonces sería sistemático.

2.3.3. Incertidumbre

Incertidumbre o incertidumbre de medida: Significa duda sobre la validez del resultado de una medición. La incertidumbre es un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza su dispersión. La incertidumbre del resultado de una medición refleja la imposibilidad de conocer exactamente el valor del mensurando.

Por ejemplo, en la expresión $5,47 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, se indica que existe un alto nivel de confianza de que el verdadero valor del mensurando se encuentre dentro del intervalo.

El resultado de una medición, tras su corrección si se conoce, se entiende que es la mejor estimación del valor del mensurando y que todas las componentes de la incertidumbre contribuyen a la dispersión.

En algunos textos se emplea el símbolo u para denotar la incertidumbre, en el presente documento para seguir la notación del Bachillerato Internacional, se emplea Δx indistintamente para representar el error absoluto y la incertidumbre.

Posibles fuentes de incertidumbre en una medición

- a) Definición incorrecta del mensurando.
- b) La muestra analizada puede no representar al mensurando definido.
- c) Conocimiento incompleto de los efectos de las condiciones ambientales sobre la medición, o medición imperfecta de dichas condiciones ambientales.
- d) Lectura sesgada de instrumentos analógicos, por parte del técnico.
- e) Resolución finita del instrumento de medida o umbral de discriminación.
- f) Valores inexactos de los patrones de medida o de los materiales de referencia.
- g) Valores inexactos de constantes y otros parámetros tomados de fuentes externas y utilizados en el algoritmo de tratamiento de los datos.
- h) Aproximaciones e hipótesis establecidas en el método y en el procedimiento de medida.
- i) Variaciones en las observaciones repetidas del mensurando, en condiciones aparentemente idénticas.

Estas fuentes no son necesariamente independientes y por supuesto, un efecto sistemático no identificado no puede ser tenido en cuenta en la evaluación de la incertidumbre del resultado de una medición, aunque contribuirá a su error.

2.3.4. Profundización

Tipos de incertidumbre según su evaluación La incertidumbre de un resultado de medida consta generalmente de varias componentes, que pueden agruparse en dos tipos, según el modo en que se estimen:

- **Tipo A:** Aquellas que se evalúan por métodos estadísticos. La incertidumbre tipo A se establece a partir de observaciones repetidas.
- **Tipo B:** Aquellas que se evalúan por otros medios. Las incertidumbres Tipo B se establecen mediante decisión científica basada en la información disponible, por ejemplo:
 - Resultados de mediciones anteriores.
 - Experiencia o conocimientos generales sobre el comportamiento y las propiedades de los materiales e instrumentos utilizados. Por ejemplo, la resolución del instrumento de medida.

- Especificaciones del fabricante.
- Datos suministrados por certificados de calibración u otros tipos de certificados.
- Incertidumbres asignadas a valores de referencia procedentes de libros y manuales.

Una evaluación Tipo B de la incertidumbre típica puede ser tan fiable como una evaluación Tipo A, especialmente en situaciones en las que una evaluación Tipo A se basa en un número relativamente pequeño de observaciones.

No siempre existe una simple correspondencia entre la clasificación en tipo A y B, y la clasificación en “aleatoria” y “sistemática” utilizada anteriormente para incertidumbres.

Incertidumbre combinada Cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de otras magnitudes, se toman en cuenta las incertidumbres de todas ellas, ponderadas según su influencia.

2.4. Referencias y fuentes de información

- *Evaluación de datos de medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida del CEM 2008*
- *Bureau international des poids et mesures (BIPM)* <http://www.bipm.org/en/about-us/> 2015
- *Physics for the IB Diploma. Cambridge. K.A Tsoikos. Sixth edition 2014.*
- *Physics for use with the IB diploma programme. Topic 1: Measurements and uncertainties. first Assessment 2016. Michael J.Dickinson 2014*
- *Física 2. SM. J.Puente C.Lara N. Romo.*
- *Física. Edebe. Modalidad Ciencias y Tecnología 2009.*

Capítulo 3

Incertidumbre, errores y expresión de la medición

3.1. Medición a partir de un dato u observación

3.1.1. Cuando la medida ha sido dada

El valor dado es la *mejor estimación*.

La incertidumbre:

- Se utiliza la incertidumbre dada.
- Si no se especifica, se toma como incertidumbre una unidad de la última cifra del valor de la medida.

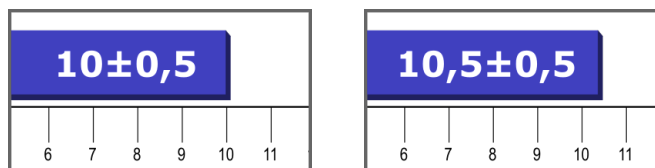
3.1.2. Cuando la medida ha sido obtenida directamente

El valor medido se toma como la *mejor estimación*. Si se conoce una corrección del error sistemático, el *valor corregido* es la *mejor estimación*.

La incertidumbre:

- Se toma como incertidumbre la mitad de la mínima división del instrumento. En el caso de haber leído el dato en una pantalla digital, la incertidumbre es una unidad de la última posición numérica (consultar resolución).

Si se realiza la lectura digital de un sensor conectado a un ordenador podemos obtener gran cantidad de cifras que realmente no aportan información, en este caso la incertidumbre es la unidad de la última cifra con información, es decir que cambia por una variación del mensurando y no oscila tomando valores aleatoriamente.



- Si por medio de las especificaciones del fabricante es posible establecer un intervalo $[x+a, x-a]$ entorno al valor de la medida x , donde es probable encontrar el valor verdadero, entonces se puede tomar a como la incertidumbre de la medición.

3.2. Medición a partir de varias observaciones

El resultado de una medición con n observaciones diferentes $x_1, x_2, \dots, x_n$, es su media aritmética o promedio. La media es la *mejor estimación* con los datos disponibles.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Si se conoce una corrección del error sistemático, se aplica al promedio y el *valor corregido*, es la *mejor estimación*.

$$\bar{x} - b$$

El parámetro que representa a la incertidumbre, caracteriza la *dispersión* de los valores que podría tener el mensurando. El parámetro puede ser:

- **El Rango medio:**

$$\Delta x = R_m = \frac{|x_{max} - x_{min}|}{2}$$

- **La Incertidumbre típica:** Cuando la incertidumbre se expresa como una desviación típica.

- La **desviación típica experimental (muestral)**: es la raíz de la varianza muestral s^2 .

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- La **desviación típica experimental de la media**:

$$s(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

- **La Incertidumbre expandida** La *incertidumbre típica* se multiplica por un *factor de cobertura* k , obteniéndose la denominada incertidumbre expandida U que proporciona un intervalo $[\bar{x} - U, \bar{x} + U]$ que pueda contener una fracción grande de los valores atribuibles al mensurando. Consultar Apéndice D *Incertidumbre expandida con la distribución t de Student*.

Para expresar la incertidumbre obtenida a partir de varias observaciones, acostumbraremos a utilizar el Rango medio. Si se utiliza otra medida de dispersión se debe aclarar explícitamente

3.3. Varias incertidumbres en una medición

En un proceso de medición podemos encontrarnos con varias incertidumbres cuantificadas: la incertidumbre procedente de la lectura del instrumento, la incertidumbre de la dispersión del conjunto de datos e incluso la incertidumbre especificada por el fabricante. Existe un tratamiento complejo para obtener una incertidumbre combinada que cuente con todas las contribuciones. En nuestro caso nos

limitaremos a tomar como incertidumbre la mayor de todas ellas.

En el caso de tomar varias observaciones, la incertidumbre de mayor valor suele ser la que caracteriza la dispersión de los datos. Consultar Sección 3.2 Medición a partir de varias observaciones.

3.4. Incertidumbre relativa y porcentual

Incertidumbre relativa Es el cociente entre la incertidumbre y el valor de la medida $E_r = \frac{\Delta x}{x}$. No tiene unidades.

Incertidumbre relativa porcentual También llamada *incertidumbre porcentual*. Es la incertidumbre relativa expresada en porcentaje $E_{r \text{ porcentual}} = E_r \cdot 100$. No tiene unidades y su expresión se termina con el símbolo %.

3.5. Expresión general de la medición

Para expresar el resultado de una medición, es obligado dar alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de forma que quienes utilizan dicho resultado puedan evaluar su idoneidad. Esta indicación es la incertidumbre.

Habitualmente basta con dar las incertidumbres con una o dos cifras. A la hora de dar los resultados finales, puede ser adecuado redondear las incertidumbres por exceso, mejor que a la cifra más próxima.

Ejemplos

- a) $m = 100,02147 \text{ g}$, con incertidumbre $\Delta x = 0,35 \text{ mg}$.
- b) $m = (100,02147 \pm 0,00035) \text{ g}$ El número que sigue al símbolo $\pm$ es la incertidumbre.
- c) $m = 100,02147 \text{ g} \pm 0,00035 \text{ g}$ El número que sigue al símbolo $\pm$ es la incertidumbre.
- d) $m = 100,02147(35) \text{ g}$ El número entre paréntesis la incertidumbre referida a las dos últimas cifras del resultado dado.
- e) $m = 100,02147(0,00035) \text{ g}$ El número entre paréntesis la incertidumbre expresada en la misma unidad que el resultado dado.

Para expresar las incertidumbres, acostumbraremos a utilizar las formas a), b) o c) y a darlas con una cifra significativa, salvo que se justifique el uso de dos cifras.

Ejemplos con incertidumbre relativa

- a) $m = 100,02147 \text{ g}$, con incertidumbre $E_r = 0,0000035$.
- b) $m = 100,02147 \text{ g} (0,0000035)$, el número entre paréntesis es la incertidumbre relativa.
- c) $m = 100,02147 \text{ g} \pm 0,0000035$, el número que sigue al símbolo $\pm$ es la incertidumbre relativa.

Para expresar las incertidumbres relativas, acostumbraremos a utilizar la forma a) y a darlas con una cifra significativa, salvo que se justifique el uso de dos cifras.

Ejemplos con incertidumbre porcentual

- a) $m = 100,02147 \text{ g}$, con incertidumbre $E_{\text{porcentual}} = 0,00035 \%$.
- b) $m = 100,02147 \text{ g} (0,00035 \%)$, el número entre paréntesis es la incertidumbre porcentual.
- c) $m = 100,02147 \text{ g} \pm 0,00035 \%$, el número que sigue al símbolo $\pm$ es la incertidumbre porcentual.

Para expresar las incertidumbres porcentuales, acostumbraremos a utilizar la forma a) y a darlas con una cifra significativa, salvo que se justifique el uso de dos cifras.

3.6. Propagación de las incertidumbres

En la mayoría de experimentos no se mide directamente la magnitud que se pretende estimar, si no que se obtiene a partir de otras magnitudes. Las incertidumbres en las magnitudes medidas directamente dan lugar a incertidumbre en el resultado final.

En lo que sigue, se trata la propagación de incertidumbres en la estimación de $x \pm \Delta x$ a partir de las medidas conocidas de $a \pm \Delta a$, $b \pm \Delta b$, $c \pm \Delta c$.

3.6.1. Suma y resta

Sea $x = a + b$ entonces tomamos $\Delta x = \Delta a + \Delta b$

Sea $x = a - b$ entonces tomamos $\Delta x = \Delta a + \Delta b$

Sea $x = a + b - c$ entonces tomamos $\Delta x = \Delta a + \Delta b + \Delta c$

3.6.2. Multiplicación y división

Sea $x = a \cdot b$ entonces tomamos $\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$ es decir $E_{rx} = E_{ra} + E_{rb}$

Sea $x = \frac{a}{b}$ entonces tomamos $\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$ es decir $E_{rx} = E_{ra} + E_{rb}$

Sea $x = \frac{a \cdot b}{c}$ entonces tomamos $\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}$ es decir $E_{rx} = E_{ra} + E_{rb} + E_{rc}$

3.6.3. Potencias y radicales

Sea $x = a^n$ entonces tomamos $\frac{\Delta x}{x} = |n| \cdot \frac{\Delta a}{a}$ es decir $E_{rx} = |n| \cdot E_{ra}$

Sea $x = \sqrt[n]{a}$ entonces tomamos $\frac{\Delta x}{x} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta a}{a}$ es decir $E_{rx} = \frac{1}{n} \cdot E_{ra}$

3.7. Cifras significativas

Expresar una cantidad con un número determinado de cifras, implica asumir una incertidumbre. Por ejemplo, la cantidad $12,2$ sin más información acerca de su procedencia, lleva implícita en su expresión una incertidumbre de $\pm 0,1$.

Las cifras significativas Para una cantidad conocida con una determinada precisión, las cifras significativas son aquellas que contiene información.

Reglas para identificar las cifras significativas:

- i) Todas las cifras de una cantidad son significativas excepto en los casos II, III y IV.

Ejemplos:

$305,25$ tiene 5 cifras significativas.

- ii) No se tendrán en cuenta los ceros a la izquierda. Ejemplo:

$0,056$ tiene 2 cifras significativas

- iii) Cuando la cantidad solo tiene parte entera, tampoco se tendrán en cuenta los ceros a la derecha salvo que se indique lo contrario.

Ejemplos:

3600 tiene 2 cifras significativas

500 tiene 1 cifra significativas

$200,0$ tiene 4 cifras significativas

1800 *con cuatro cifras significativas* tiene 4 cifras significativas

1800 ± 5 tiene 4 cifras significativas

- iv) Si se conoce la incertidumbre, las cifras significativas son las resultantes del redondeo. La última cifra significativa debe tener la misma posición decimal que la última cifra del error.

Ejemplos:

$3,285$ con incertidumbre $\pm 0,3$ se expresa con dos cifras significativas $3,3 \pm 0,3$

$28,34$ con incertidumbre $\pm 1,2$ se expresa con tres cifras significativas $28,3 \pm 1,2$

3.7.1. Reglas del redondeo

Reglas generales del redondeo

- 1º Si la primera cifra que se elimina es menor que 5, entonces las cifras que quedan se dejan igual.

Ejemplo:

$5,32$ se redondea a 1 cifra decimal como $5,3$

- 2º Si la primera cifra que se elimina es mayor que 5, entonces la última cifra que queda se aumenta en una unidad.

Ejemplo:

$5,37$ se redondea a 1 cifra decimal como $5,4$

- 3º Si la primera cifra que se elimina es igual a 5, entonces la última cifra que queda se aumenta en una unidad.

Ejemplos:

5352 se redondea a la centena como 5400
5,35000 se redondea a las décimas como 5,4
5,35001 se redondea a las décimas como 5,4

Otra manera de redondear: El redondeo a par También conocido como "Método internacional". Es el método básico de redondeo con mayor precisión estadística.

1º Si la primera cifra que se elimina es menor que 5, entonces las cifras que quedan se dejan igual.
Ejemplo:

5,32 se redondea a 1 cifra decimal como 5,3

2º Si la primera cifra que se elimina es mayor que 5, entonces la última cifra que queda se aumenta en una unidad.
Ejemplo:

5,37 se redondea a 1 cifra decimal como 5,4

3º Si la primera cifra que se elimina es igual a 5 y es seguida de alguna cifra distinta de cero, entonces la última cifra que queda se aumenta en una unidad.
Ejemplos:

5352 se redondea a la centena como 5400
5,35000 se redondea a las décimas como 5,4
5,35001 se redondea a las décimas como 5,4

4º Si la primera cifra que se elimina es igual 5 y es seguida de ceros o no le siguen más cifras, entonces la última cifra que queda se deja igual **si es par**.
Ejemplos:

5,2500 se redondea a 2 cifras significativas como 5,2
5,25 se redondea a 2 cifras significativas como 5,2

5º Si la primera cifra que se elimina es igual 5 y es seguida de ceros o no le siguen más cifras, entonces la última cifra que queda se aumenta en una unidad **si es impar**.
Ejemplos:

5,350 se redondea a 2 cifras significativas como 5,4
5,35 se redondea a 2 cifras significativas como 5,4

No hay que confundir el *redondeo* con el *truncamiento*. Al *truncar* un número a una posición determinada, se eliminan todas las cifras inferiores sin variar las que permanecen.

Acostumbraremos a utilizar las **Reglas generales del redondeo**, no las del **Redondeo a par**.

3.7.2. Redondeo en sumas, restas, multiplicaciones y divisiones

Se admite que el resultado de una suma o una resta, debe darse con las mismas **posiciones decimales** que el número inicial que menos tenga.

Ejemplo, $25,21 + 8,578 - 2,1 = 31,7$ con solo una posición decimal.

Y el resultado de una multiplicación o una división, debe darse con tantas **cifras significativas** como el número inicial que menos tenga.

Ejemplo, $\frac{25,25 \cdot 5,3}{2,1} = 64$ con solo dos cifras significativas.

Si se conocen las incertidumbres de los valores iniciales, se aplican las reglas de la Propagación de las incertidumbres, Sección 3.6 .

3.8. Notación científica

Es la forma de expresar las cantidades en el contexto científico porque permite distinguir claramente las cifras significativas y el Orden de magnitud.

Por ejemplo, para la cantidad 380, podríamos dudar si está expresada con 2 o 3 cifras significativas. En cambio, utilizando notación científica, si expresamos $3,8 \cdot 10^3$, no cabe duda de que son 2 cifras significativas. Si fuesen 3 cifras significativas se habría escrito $3,80 \cdot 10^3$.

Para expresar una cantidad, por ejemplo 307,2 , en notación científica, se siguen los siguientes pasos:

- 1) Se escriben solo las cifras significativas. 3072
- 2) Se deja una cifra en la parte entera y el resto en la decimal. 3,072
- 3) A continuación, se multiplica por la potencia en base diez 10^n necesaria para que el resultado sea igual al número inicial. $3,072 \cdot 10^2$

Ejemplos:

8000 se escribe $8 \cdot 10^3$

225 se escribe $2,25 \cdot 10^2$

0,03 se escribe $3 \cdot 10^{-2}$

0,000105 se escribe $1,05 \cdot 10^{-4}$

6 se escribe 6 ($6 = 6 \cdot 10^0$)

3.9. Orden de magnitud

Orden de magnitud de una cantidad: Es el orden de la potencia en base diez más próxima a dicha cantidad.

Por ejemplo, 185 es de orden de magnitud 2 , también se puede decir que es del orden de las centenas. La cantidad 890 es de orden de magnitud 3 .

Para redondear una cantidad dada a una potencia en base 10 , se puede aplicar directamente el logaritmo decimal y después se redondea el exponente.

Por ejemplo, 2650 se calcula $\log 2650 = 3,42$ y se redondea. Su orden de magnitud es 3.

En notación científica: Cuando la parte numérica es superior o igual a 3,16 se toma un orden superior al de la potencia y cuando es menor a 3,16 se deja el orden de la potencia. Ejemplos:

$1,05 \cdot 10^{-4}$ es de orden de magnitud -4

$3,98 \cdot 10^{-4}$ es de orden de magnitud -3

5 es de orden de magnitud 1 ($5 = 5 \cdot 10^0$)

3 es de orden de magnitud 0 ($3 = 3 \cdot 10^0$)

El radio de la Tierra es de orden de magnitud 7

El tamaño de un protón es de orden de magnitud -15

El tamaño del Sistema Solar es de orden de magnitud 13

El tamaño del universo visible es de orden de magnitud 15

3.10. Prefijos de unidades: Múltiplos y submúltiplos.

También llamados *Multiplicadores métricos*.

Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo	Factor
yotta	Y	10^{24}	deci	d	10^{-1}
zetta	Z	10^{21}	centi	c	10^{-2}
exa	E	10^{18}	milli	m	10^{-3}
peta	P	10^{15}	micro	μ	10^{-6}
tera	T	10^{12}	nano	n	10^{-9}
giga	G	10^9	pico	p	10^{-12}
mega	M	10^6	femto	f	10^{-15}
kilo	k	10^3	atto	a	10^{-18}
hecto	h	10^2	zepto	z	10^{-21}
deca	da	10^1	yocto	y	10^{-24}

Cuadro 3.1: Múltiplos y submúltiplos de unidades

3.11. Referencias y fuentes de información

- *Evaluación de datos de medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida del CEM 2008*
- *Bureau international des poids et mesures (BIPM)* <http://www.bipm.org/en/about-us/> 2015
- *Physics for the IB Diploma. Cambridge. K.A Tsoikos. Sixth edition 2014.*
- *Physics for use with the IB diploma programme. Topic 1: Measurements and uncertainties. first Assessment 2016. Michael J.Dickinson 2014*
- *Física 2. SM. J.Puente C.Lara N. Romo.*
- *Física. Edebe. Modalidad Ciencias y Tecnología 2009.*

Capítulo 4

Representación gráfica y ajuste

4.1. Representación gráfica

El objetivo de muchos experimentos es relacionar dos magnitudes. La representación gráfica de los datos permite interpretar si existe alguna relación entre las dos magnitudes, reconocer el tipo de relación (ley) e identificar los datos que se apartan del comportamiento general.

Las representaciones suelen hacerse en un *sistema de referencia cartesiano*, donde a cada par de valores (*magnitud de entrada, magnitud medida*) obtenido experimentalmente, le corresponde un punto del plano xy . Al conjunto de puntos se le denomina ***nube de puntos***.

En un experimento, la magnitud que se controla se denomina *variable independiente* y se asigna al eje de abscisas x . La magnitud que se obtiene como resultado del experimento se denomina *variable dependiente* y se asigna al eje de ordenadas y .

Si se estudia el cambio de una magnitud a medida que transcurre el tiempo, la *variable independiente* es el tiempo.

La representación consta de los siguientes elementos:

- Título.
- Sistema de referencia con ejes coordenados.
- En cada eje de coordenadas se indica su magnitud y unidad.
- En cada eje se hacen marcas equidistantes según la escala utilizada y se indican sus valores.
- Se representa un punto por cada par de valores.
- Si se conocen las incertidumbres, se representan las barras de error de cada punto.
- Si se realiza un ajuste, también se representa.

A este tipo de representación se le denomina ***diagrama de dispersión***.

Escala y rango En cada eje se representa el intervalo que contienen datos. De este modo, se consigue que el conjunto de puntos se distribuya en la mayor cantidad de superficie de la gráfica.

Los puntos $x = 0$, $y = 0$ no tienen por qué estar representados, aunque suelen incluirse si no se encuentran muy alejados.

Las escalas de los ejes pueden ser diferentes.

Barras de error Son segmentos que se dibujan sobre los puntos y cuya longitud es igual a la incertidumbre de los valores representados. A cada punto le corresponde una barra horizontal para el error en abscisas y una barra vertical para el error en ordenadas.

4.1.1. Ajuste de una curva a los datos

El ajuste sirve para encontrar la ley (función) que mejor represente la relación entre las dos magnitudes. Para ello se parte del diagrama de dispersión y se trata de encontrar la recta o curva que mejor represente la nube de puntos.

Primero hay que elegir el tipo de función que se va a emplear, se ajusta y se determina su ecuación. Por ejemplo, si se hace un ajuste lineal, la gráfica es una recta de ecuación general $y = mx + n$ y realizando el ajuste, se estiman sus parámetros: m y n .

Para realizar el ajuste se descartan las parejas de valores que se desvíen notablemente del comportamiento general de la nube de puntos.

Método gráfico El ajuste se hace trazando la gráfica que minimice las distancias a los puntos de la nube. Y después se determina la ecuación de la línea trazada.

Método analítico: Ajuste por mínimos cuadrados Siendo f la función que se establece para relacionar las dos magnitudes, para cada pareja de valores (x_i, y_i) se define un *residuo* $d_i = y_i - f(x_i)$. El ajuste por mínimos cuadrados consiste en hacer mínima la suma de los residuos al cuadrado $\sum d_i^2$.

4.2. Ajuste lineal sin barras de error

También se denomina regresión lineal. Consiste en encontrar la recta $y = mx + n$ que mejor se ajuste a la nube de puntos, sin tener en cuenta las incertidumbres.

4.2.1. Ajuste lineal gráficamente

Pasos

- 1 Realizar el diagrama de dispersión.
- 2 Descartar los puntos que se desvíen de la tendencia general. Los puntos descartados se señalan claramente.
- 3 Trazar la recta que pase lo más cerca posible de todos los puntos. Para ello se dibuja dejando aproximadamente, la misma cantidad de puntos por encima que por debajo.
- 4 Determinar la ecuación $y = mx + n$. Para ello se escogen dos puntos de la recta $P_a = (x_a, y_a)$ y $P_b = (x_b, y_b)$ y se calcula:

- Pendiente $m = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a}$
- Ordenada en el origen $n = y_a - mx_a$

El número de cifras significativas de m y n debe estar de acuerdo con la incertidumbre de los datos.

4.2.2. Ajuste lineal por mínimos cuadrados

Consultar Anexo E Regresión lineal simple

4.2.3. Ajuste lineal con Excel

Consultar Anexo A.7 Ajuste lineal con Excel

4.2.4. Ajuste lineal con gnuplot

Consultar Anexo B.5 Ajuste lineal con gnuplot

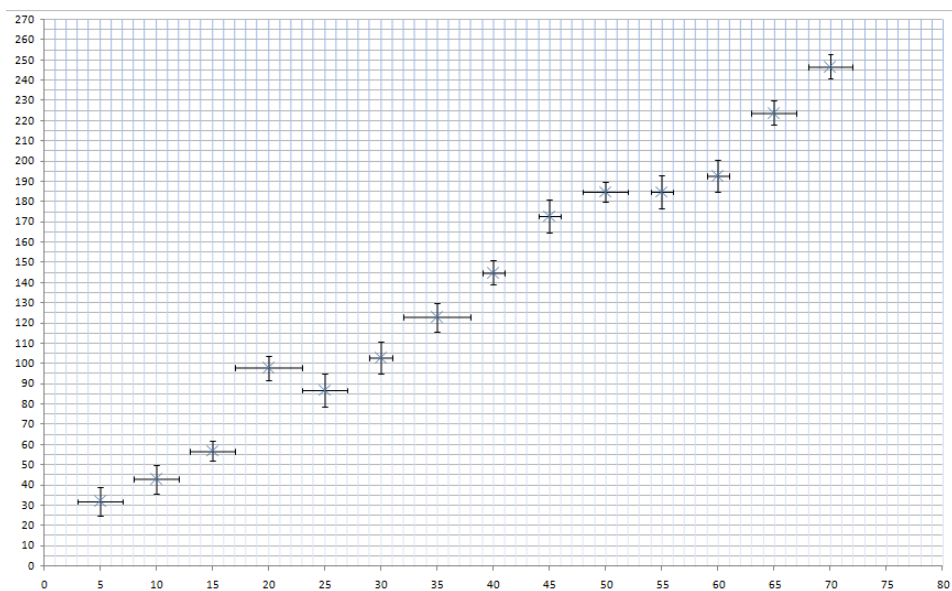
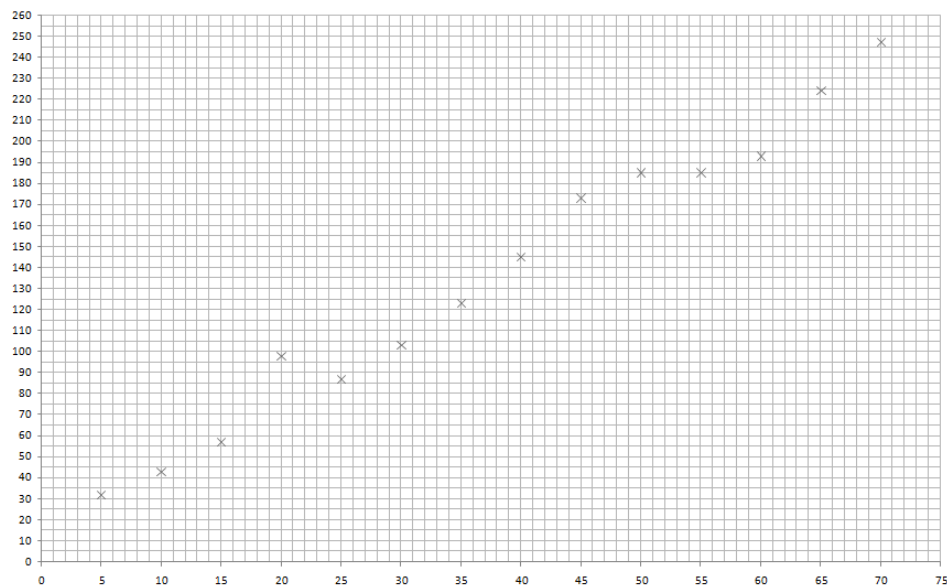
4.3. Ajuste lineal con barras de error

También se denomina regresión lineal. Consiste en encontrar la recta $y = mx + n$ que mejor se ajuste a la nube de puntos, teniendo en cuenta sus incertidumbres.

4.3.1. Ajuste lineal gráficamente

Pasos

- 1 Realizar el diagrama de dispersión con barras de error.



- 2 Descartar los puntos que se desvíen de la tendencia general. Los puntos descartados se señalan claramente.

- 3 Trazar la recta de mayor inclinación, que pase por los rectángulos que delimitan las barras de error de todos los puntos o de la mayoría.

Determinar su ecuación $y = m_1x + n_1$ a partir de dos puntos de la recta $P_a = (x_a, y_a)$ y $P_b = (x_b, y_b)$.

- Pendiente $m_1 = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a}$
- Ordenada en el origen $n_1 = y_a - m_1x_a$

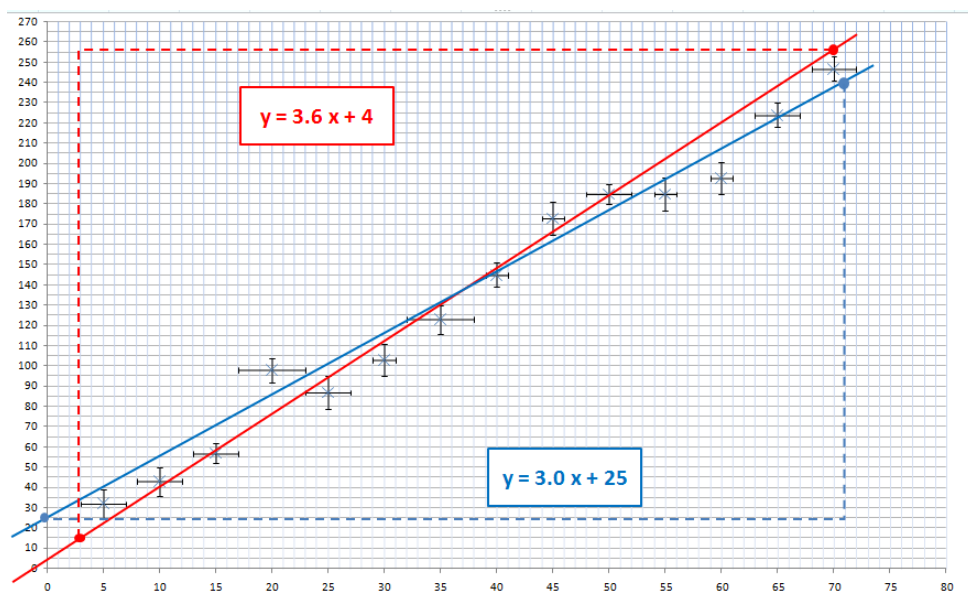
Las cifras significativas de m_1 y n_1 deben estar de acuerdo con la incertidumbre de los datos.

- 4 Traza la recta de menor inclinación, que pase por los rectángulos que delimitan las barras de incertidumbre de todos los puntos o de la mayoría.

Determinar su ecuación $y = m_2x + n_2$ a partir de dos puntos de la recta $P_a = (x_a, y_a)$ y $P_b = (x_b, y_b)$.

- Pendiente $m_2 = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a}$
- Ordenada en el origen $n_2 = y_a - m_2x_a$

Las cifras significativas de m_2 y n_2 deben estar de acuerdo con la incertidumbre de los datos.

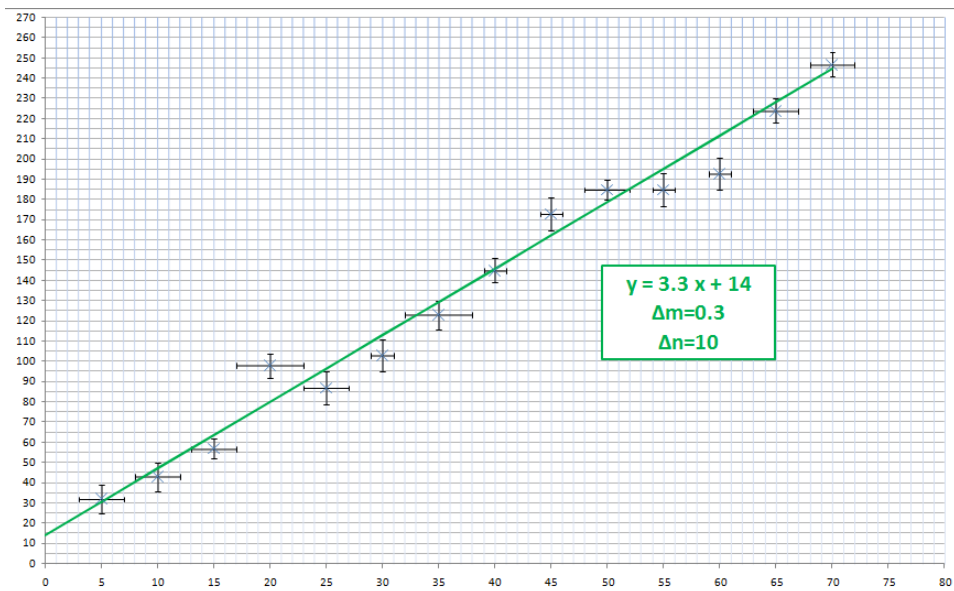
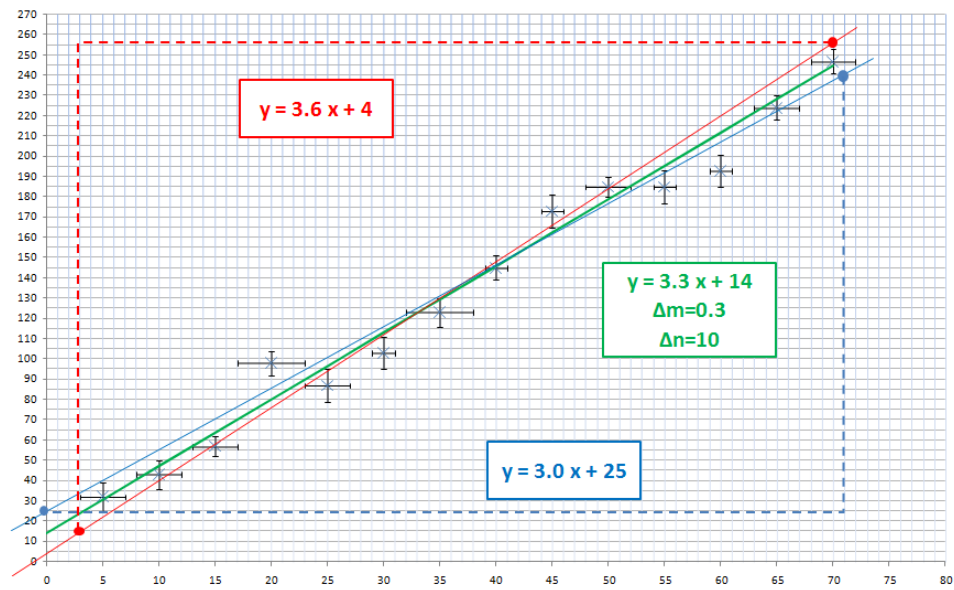


- 5 El *mejor ajuste* es la recta $y = mx + n$ que tiene:

- Pendiente igual al promedio de las dos anteriores $m = \frac{m_1 + m_2}{2}$. Con cifras significativas igual a m_1 y m_2 .
- Ordenada en el origen igual al promedio de las dos anteriores $n = \frac{n_1 + n_2}{2}$. Con cifras significativas igual a n_1 y n_2 .

- 6 La incertidumbre en la pendiente es $\Delta m = \frac{|m_1 - m_2|}{2}$. Con una, a lo sumo dos, cifras significativas.

- 7 La incertidumbre en la ordenada en el origen es $\Delta n = \frac{|n_1 - n_2|}{2}$. Con una, a lo sumo dos, cifras significativas.



4.3.2. Ajuste lineal con barras de error con gnuplot

Consultar Anexo B.6. Ajuste lineal con barras de error con gnuplot.

4.4. Interpolación y Extrapolación

Después del ajuste podemos inferir información, es decir, obtener parejas de datos directamente de la línea ajustada, sin necesidad de una medición experimental.

Interpolación Inferir datos dentro del rango experimental de la variable independiente.

Extrapolación Inferir datos fuera del rango experimental de la variable independiente.

4.5. Linealización

Cuando la relación entre dos magnitudes no es lineal, si es posible, es habitual aplicar transformaciones para convertirla en lineal.

Ejemplo La desintegración radiactiva tiene una ley que relaciona la *cantidad de núcleos radiactivos presentes en una muestra* con el *tiempo transcurrido* $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$. Aplicando logaritmos en ambos miembros tenemos $\ln N = \ln N_0 - \lambda t$, que corresponde a una recta cuya variable independiente es t , la variable dependiente es $\ln N$, la pendiente es $-\lambda$ y la ordenada en el origen $\ln N_0$.

En general $y = a \cdot b^{cx}$ se transforma en $\log y = \log a + (c \cdot \log b) x$

Ejemplo La ecuación que relaciona el *periodo de oscilación* de un péndulo con la *longitud* del mismo es $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Si consideramos $\sqrt{l}$ como la variable independiente y T como la variable dependiente, entonces tenemos una recta con pendiente $\frac{2}{\sqrt{g}}$ y ordenada en el origen nula.

Ejemplo La ecuación del movimiento de caída libre sin velocidad inicial es $y = y_0 + \frac{g}{2} \cdot t^2$. Tomando como variable independiente t^2 la ecuación corresponde a una recta con pendiente $\frac{g}{2}$ y ordenada en el origen y_0 .

4.6. Otros ajustes

El método de mínimos cuadrados puede aplicarse al ajuste de cualquier curva cuya expresión sea conocida, ya sea cuadrática, potencial, logarítmica, exponencial, trigonométrica ...

4.6.1. Otros ajustes con Excel

Consultar Anexo A.8 Otros ajustes con Excel

4.6.2. Otros ajustes con Solver

Consultar Anexo C Ajuste con Solver

4.6.3. Otros ajustes con gnuplot

Consultar Anexo B.7 Otros ajustes con gnuplot

4.7. Referencias y fuentes de información

- *Evaluación de datos de medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida del CEM 2008*
- *Bureau international des poids et mesures (BIPM)* <http://www.bipm.org/en/about-us/> 2015
- *Physics for the IB Diploma. Cambridge. K.A Tsoikos. Sixth edition 2014.*
- *Physics for use with the IB diploma programme. Topic 1: Measurements and uncertainties. first Assessment 2016. Michael J.Dickinson 2014*
- *Física 2. SM. J.Puente C.Lara N. Romo.*
- *Física. Edebe. Modalidad Ciencias y Tecnología 2009.*

Capítulo 5

Método Científico

El método científico es la manera con la que los científicos comprenden y predicen fenómenos que ocurren en la naturaleza. Ésta forma de proceder se orienta a construir conocimiento objetivo y contrastable acerca del mundo que nos rodea.

Pasos generales del método científico:

- 1 Observación y descripción del fenómeno de estudio.
- 2 Formulación de una hipótesis que lo explique el fenómeno.
- 3 Experimentación. Los experimentos deben ser reproducibles.
- 4 Contraste: Es la verificación o refutación. Si el resultado no es satisfactorio se realiza otra hipótesis y así sucesivamente.

Para que una teoría sea aceptada debe ser verificada experimentalmente.

También se utilizan modelos refutados si proporcionan buenos resultados en condiciones específicas, por ejemplo Las Leyes de Newton del movimiento.

Capítulo 6

Informe de trabajo practico

Informe de trabajo practico Documento donde se recoge toda la información acerca de los objetivos, proceso e interpretación de los resultados del trabajo realizado.

- 1 **Título, autoría, fecha** y localización si procede. El título debe sintetizar el contenido del informe.
- 2 **Se presenta el objetivo de estudio** : Puede ser establecer una relación entre dos magnitudes, comprobar una ley conocida, estimar el valor de una constante...
- 3 **Establecer un marco de estudio: Definición de las magnitudes que intervienen en el experimento** .
Presentación de las teorías y leyes que se vayan a utilizar , indicar los valores aceptados de las constantes que se van a calcular... Toda la información relevante que permita establecer un marco de estudio.
- 4 Relevancia científica, técnica, ambiental, social o histórica. Significación e importancia para el experimentador.
- 5 Precedentes: Estudios previos.
- 6 **Establecer una hipótesis**: Generalmente es una relación entre dos o más magnitudes expresada en forma de ecuación. Se **identifica la variable independiente y la variable dependiente** . Justificar la elección de la hipótesis en base al marco de estudio establecido.
- 7 **Propuesta experimental: Material, montaje, software, descripción del procedimiento y de la toma de datos** . Acompañar con dibujos y fotos, explicación del funcionamiento de los dispositivos utilizados, resolución de los instrumentos de medida... **Detectar los posibles riesgos y detallar las medidas de seguridad adoptadas** . El proceso experimental se debe precisar con el suficiente detalle para que pueda ser reproducido.
- 8 Experimentación y **toma de datos** :
 - Se describen las condiciones ambientales que puedan influir en la observación. Magnitudes de influencia: presión, temperatura, humedad..
 - **Los datos se disponen ordenadamente** (generalmente en tablas), con las **unidades, incertidumbres y cifras significativas** apropiadas.
 - Cuantas más observaciones se hagan para una misma medida, más se reduce la componente aleatoria de la incertidumbre. La mejor estimación es el promedio.

- El conjunto de medidas se representa gráficamente . Cuantas más medidas diferentes se tomen, el resultado será más aceptable.
- 9 Tratamiento de datos: Ajuste de los diagramas de dispersión (si hay). Cálculo de los resultados y sus incertidumbres . Las operaciones se desarrollan con su propagación de incertidumbres.
 - 10 Interpretación de la validez de los resultados. Análisis de las fuentes de error , se pueden diferenciar las componentes aleatorias y sistemáticas. Propuestas de mejora para el planteamiento y proceso experimental. Valorar la necesidad de tomar nuevos datos.
 - 11 Conclusión . Se valora el grado de consecución del objetivo u objetivos iniciales. Si procede, se acepta la hipótesis o se rechaza, también se puede reformular. Todo justificadamente.
 - 12 Citar fuentes de información y recursos consultados Se recomienda el uso de las normas APA Sección ?? ??.

Elementos necesarios

Capítulo 7

Requisitos y recomendaciones de seguridad

7.1. Normas de laboratorio y trabajos prácticos

- Leer completamente el presente Capítulo, *Requisitos y recomendaciones de seguridad*.
- firmar y entregar al profesor la *ficha de cumplimiento de las Normas de laboratorio y trabajos prácticos* Sección 7.7.
- Mantener hábitos de trabajo práctico y experimental que minimicen los riesgos propios y ajenos.
- Hacer el buen uso y mantenimiento de las instalaciones.
- No trabajar solo.
- No comer, beber ni fumar.
- No llevar prendas o complementos que puedan engancharse en montajes, equipos o máquinas.
- Obligación de llevar los equipos de protección requeridos en cada procedimiento.
- En el laboratorio y siempre que se trate con productos químicos, obligatoriedad de llevar bata.
- Llevar siempre las gafas de protección puestas cuando se esté haciendo un trabajo práctico con productos químicos, disolventes y cuando haya riesgo de proyección de partículas u objetos.
- No trabajar separado de las mesas de trabajo, a no ser que sea necesario.
- Mantener supervisados todos los procesos experimentales o prácticos mientras se desarrollan.
- Asegurar la desconexión de los equipos, electricidad, agua y gas al terminar el trabajo.
- Recoger materiales, reactivos, equipos, etc. al terminar el trabajo.
- Mantener las mesas de trabajo limpias y sin productos, libros, cajas o accesorios innecesarios para el trabajo que se está realizando.
- Realizar tareas y usar productos, equipos o instalaciones concretas para las que se ha sido autorizado.
- En caso de accidente avisar a un profesor inmediatamente y socorrer a la víctima según la Sección *Indicaciones en caso de accidente* Sección 7.2.

- En caso de accidente rellenar una ficha de incidencia Sección *ficha de incidencia* Sección 7.8. Con una por accidente es suficiente, no hacer fichas diferentes con la misma información.
- Gestionar los residuos siguiendo las indicaciones del profesor y utilizando los contenedores específicos disponibles.
- No efectuar pipeteos con la boca.
- Obligación de leer la etiqueta o consultar las fichas de seguridad de los productos antes de utilizarlos por primera vez.
- Etiquetar o rotular adecuadamente los frascos y recipientes que se utilicen para contener algún producto o donde se preparen mezclas, identificando su contenido y a quién pertenece.
- No tocar directamente con la piel ni probar los productos químicos.
- Manipular productos químicos siempre con guantes y gafas de protección. Si son sustancias sólidas utilizar espátula o cucharilla.
- No llenar demasiado los tubos de ensayo, como mucho la mitad.
- Calentar tubos de ensayo de lado y utilizando pinzas.
- Utilizar siempre gradillas y soportes.
- Encender mecheros con encendedores piezoeléctricos largos.
- Comprobar la temperatura de los materiales antes de cogerlos directamente con las manos.
- No colocar los objetos calientes directamente sobre la mesa de trabajo. Utilizar soportes, protectores o tableros dedicados a ésta función.
- Utilizar las vitrinas de gases cuando se trate con sustancias explosivas y gases.
- No llevar lentillas cuando se utilicen productos químicos o disolventes.
- Emplear las cantidades de reactivo necesarias.
- Siempre que no estemos absolutamente seguros, considerar que los cables conductores llevan corriente eléctrica.
- Para manipular o modificar circuitos, cables, aparatos eléctricos, hay que asegurarse de que están desconectados y que no hay tensión.
- No mojar los aparatos eléctricos.
- No acercarse a zonas en las que haya elementos con alta tensión. Cuando la tensión es alta; puede saltar un arco eléctrico entre el conductor y tierra a través de nuestro cuerpo.
- No hacer trabajos eléctricos si no se tiene un conocimiento claro del uso de los materiales y del procedimiento a seguir.
- No utilizar aparatos eléctricos cuando su carcasa dé un ligero cosquilleo al tocarla.

7.2. Indicaciones en caso de accidente

Cuando se produzca un accidente se avisa inmediatamente a un responsable y se socorre según las indicaciones que se exponen a continuación y las que aparecen en la *ficha de datos de seguridad* de las sustancias involucradas. Posteriormente se cumplimenta una *ficha de incidencia*.

7.2.1. Vertidos accidentales

Actuar rápidamente para su absorción, neutralizar o eliminar. La actuación a seguir para cada producto debe fijarse mediante la consulta de las fichas de seguridad de los productos. Las neutralizaciones se harán cuando se tengan garantías de su efectividad, valorando si se pueden producir gases tóxicos o inflamables. Ejemplos generales:

- **Líquidos inflamables:** Absorber con carbón activo o productos específicos.
- **Ácidos:** Emplear productos comercializados al efecto. Si no se dispone de un absorbente específico se recomienda neutralizar con bicarbonato y después lavar la superficie con abundante agua y detergente.
- **Bases:** Emplear productos comercializados al efecto. Si no se dispone de un absorbente específico se recomienda neutralizar y después lavar la superficie con abundante agua y detergente.
- Cuando no se disponga de un método específico para neutralizar, se recomienda el uso de un absorbente como el carbono activo, vermiculita o arena.

7.2.2. Salpicaduras en la piel

- Lavar con abundante agua durante 10 o 15 minutos.
- Usar la ducha cuando haya mucha superficie afectada o cuando no se pueda lavar fácilmente con el grifo de la pila.
- No intentar neutralizar.
- No quitar la ropa si se ha producido quemadura.
- Actuar según indique la *ficha de datos de seguridad* de la sustancia. Si no hay indicación de cómo proceder, acudir al médico o llamar al 112.
- Llame al servicio de toxicología 91 562 04 20 e informe sobre todos los datos que tenga del tóxico.

7.2.3. Salpicaduras, lesiones, objetos o agentes químicos en los ojos

- Lavar con abundante agua durante 10 o 15 minutos en el lavaojos.
- No intentar neutralizar.
- No retirar lentillas.
- Según la gravedad, tapar los ojos con gasas húmedas y si hay inflamación o contusión en los párpados, aplicar hielo envuelto en un pañuelo.
- No aplicar colirios ni frotar los ojos.
- Actuar según indique la *ficha de datos de seguridad* de la sustancia. Si no hay indicación de cómo proceder, acudir al médico o llamar al 112.
- Llame al servicio de toxicología 91 562 04 20 e informe sobre todos los datos que tenga del tóxico.

7.2.4. Salpicaduras, lesiones, objetos o agentes químicos en la ropa

- Quitarse la ropa afectada rápidamente.
- Lavar la ropa con abundante agua durante 15 minutos o más.
- Usar la ducha cuando haya mucha superficie afectada o cuando no se pueda lavar fácilmente con el grifo de la pila.
- No volver a ponerse la prenda hasta que sea lavada con detergente.
- Si hay contacto con la piel, aplicar las normas de salpicadura en piel.
- Actuar según se indique en la *ficha de datos de seguridad* de la sustancia.

7.2.5. Ingestión o inhalación

- Acudir al médico o llamar al 112 con la etiqueta del producto.
- Asegure su actuación y retírese del lugar donde se encuentre el producto.
- Socorrer con los guantes puestos.
- Quitar las ropas contaminadas.
- Actuar según se indique en la *ficha de datos de seguridad* de la sustancia.
- Llame al servicio de toxicología 91 562 04 20 e informe sobre todos los datos que tenga del tóxico.
- No dar de comer ni beber, ni provocar el vómito.
- Si no hay respiración, inicie la respiración artificial.

7.2.6. Incendio

- Dar la alarma inmediatamente.
- Apagar los pequeños fuegos tapándolos, sin utilizar agua.
- Escoger el tipo de extintor adecuado, consultando el modo de empleo. No aplicar extintor sobre personas.
- Si prende la ropa, utilizar ducha o manta de seguridad.
- Si se evacua el laboratorio, cerrar las puertas al salir.

7.2.7. Cortes y heridas

- Lavar la herida con agua a chorro y jabón. Limpiar con gasas de dentro afuera.
- Aplicar antiséptico, a ser posible que no tiña. No utilizar cicatrizante, alcohol, algodón ni pomadas.
- Cubrir con apósitos humedecidos y sujetar con esparadrapo.
- Si hay mucha hemorragia elevar el miembro afectado y presionar con apósitos, si el sangrado persiste realizar un vendaje compresivo y acudir a urgencias o llamar al 112.
- Cuerpos extraños: Si el cuerpo es pequeño, intentar extraerlo con una pinza de depilar en el mismo sentido por el que entró. Si no se puede sacar, cubrir la herida con una gasa y acudir a un centro médico. Si se logra extraer, desinfectar la herida con un antiséptico y cubrirla con un apósito limpio.

7.2.8. Contusión

- Aplicar hielo envuelto en un paño limpio o bolsa sobre la zona dañada, nunca directamente.
- Contusiones craneales: Si el herido está semiinconsciente, vomita o se marea, tiene alguna deformidad en la zona del impacto, sangra por la nariz u oídos, presenta dificultad para respirar o presenta un comportamiento anómalo, llamar inmediatamente al 112 y describir la situación.

7.2.9. Quemadura

- Si aún quedan llamas sobre la víctima, cubrir con una manta o hacerla rodar por el suelo.
- Enfriar la zona afectada con agua abundante durante 10 minutos sin que el chorro de agua caiga directamente sobre la zona afectada.
- Retirar anillos, pulseras y ropas que no estén pegadas a la piel.
- Tapar la quemadura con un apósito limpio sin aplicar ningún tipo de pomada. Si la zona afectada son manos, pies o algún pliegue de la piel, envolver cada dedo o pliegue por separado en apósitos diferentes. Si tiene algún apósito impregnado específico para quemaduras, puede usarlo.
- Si la víctima exterioriza mucho dolor, continuar enfriando la zona con agua. Y proteger a la víctima de pérdidas de calor tapándola con una manta
- No retirar las ropas pegadas a la piel. No dar de beber ni de comer a la víctima. No manipular la zona de piel afectada ni pinchar ampollas. No usar ungüentos ni pomadas.

7.2.10. Quemadura Química o absorción de agentes químicos por la piel

- Acudir al médico o llamar al 112 con la etiqueta del producto.
- Asegurar la actuación del que socorre y retirarse del lugar donde se encuentre el producto.
- Socorrer con los guantes puestos.
- Quitar las ropas contaminadas. Lavar la parte afectada con agua fría durante unos 20 minutos.
- Cubrir la herida con una gasa limpia y acudir a un centro médico o llamar al 112 con la etiqueta del producto.
- Llamar al servicio de toxicología 91 562 04 20 e informe sobre todos los datos disponibles del tóxico.

7.2.11. Lesiones producidas por la electricidad

- Desconectar la corriente.
- Permanecer sobre algún material seco y aislante como una caja de madera o una esterilla de goma.
- Si no se puede desconectar, retirar de la corriente eléctrica al accidentado utilizando un objeto no conductor, de madera o de plástico (escoba, silla, etc.) o una alfombra.
- Las quemaduras eléctricas se tratan de forma similar a las quemaduras térmicas.
- Observar si respira. Si no respira o su respiración es ineficaz, iniciar maniobras de reanimación.
- Acudir a un centro médico o llame al 112 indicando el estado de la víctima.
- No dejar sola a la víctima y no moverla a menos que sea necesario.

7.2.12. Reacciones alérgicas

- Retire al paciente del foco causante de la reacción alérgica.
- Si la víctima permanece consciente, colóquela en posición semisentada.
- Pregunte a la víctima por posibles alergias conocidas y si porta tratamiento para emergencias semejantes.
- Reevalúe de manera continua todo el cuerpo. Preste especial atención a la vías aéreas de la víctima.
- Observe si respira. Si no respira o su respiración es ineficaz, inicie maniobras de reanimación.
- Acudir a un centro médico o llame al 112 indicando el estado de la víctima.

7.3. Equipos de protección individual y colectiva

7.3.1. Ropa de trabajo

Es recomendable el uso permanente de la *bata de laboratorio* bien abrochada, que se hace imprescindible cuando se vayan manipular sustancias como reactivos, agua o disolventes y también cuando haya riesgo de proyección de partículas u objetos. La bata se lavará siempre que se haya manchado o contaminado (mirar *salpicaduras*) y regularmente por higiene.

7.3.2. Protección de las manos

Los guantes son imprescindibles para la manipulación de sustancias corrosivas, irritantes, de elevada toxicidad o de elevado poder de penetración a través de la piel. Suelen utilizarse guantes de látex desechables, o de vinilo. Se ha de verificar si pueden impregnarse de sustancias que se solubilizan en los mismos o si pueden ser permeables a ciertos productos. En otros casos puede ser recomendable utilizar a la vez dos tipos de guantes (látex o vinilo), por ejemplo cuando se trabaja con nitrosamina o con productos desconocidos. También existen guantes para manipulación de elementos calientes o fríos y guantes especiales para manipular vidrio o protección contra riesgos mecánicos.

7.3.3. Protección de los ojos

En el laboratorio, es recomendable la utilización permanente de gafas de protección, que se hace imprescindible cuando hay riesgo de salpicaduras, pequeñas explosiones o posible proyección de partículas u objetos. Las gafas normales no sustituyen a las de protección. Se desaconseja además el uso de lentes en el laboratorio. Si la operación a realizar presenta un riesgo importante, se puede realizar en vitrina. También existen filtros para Cuando se trabaje con radiaciones se utilizan gafas con filtros apropiados.

7.3.4. Protección respiratoria

Si se manipulan compuestos volátiles de alta toxicidad, o si se actúa en caso de derrames o fugas de los mismos, es imprescindible el uso de máscaras de protección respiratoria. También cuando haya riesgo de proyección de partículas u objetos pequeños.

7.3.5. Vitrina de gases

Aunque su misión principal es realizar una extracción localizada que permite captar los contaminantes liberados por un foco, puede proporcionar otro tipo de protecciones:

- Protección contra proyecciones y salpicaduras.
- Protección contra incendios y pequeñas explosiones.
- Facilitan la renovación de aire limpio del laboratorio.
- Evitan la salida de contaminantes hacia el laboratorio.

7.3.6. Duchas y lavaojos

Se utilizan en caso de accidente y siempre que se considere necesario. Mirar *salpicaduras, quemaduras...*

7.4. Gestión de residuos

Las pautas generales de tratamiento de residuos son: Clasificar, envasar según su naturaleza, etiquetar los envases, almacenar y entregar a una empresa gestora de residuos.

Clasificación y envasado:

- Productos químicos sólidos: Se agrupan, cada uno en su envase.
- Disolventes halogenados: Bidón específico.
- Disolventes no halogenados: Bidón específico.
- Productos especiales por su peligrosidad: Porque sean explosivos, muy reactivos o tóxicos. Se almacenarán por separado. Por ejemplo peróxidos , metales alcalinos, cianuros...
- Vidrio contaminado: Contenedor específico.
- Biopeligrosos: Cultivos, agujas, hojas de bisturí, restos de animales, sangre... Se recogen en un contenedor o bidón específico.
- Aceites: Bidón específico.
- Ácidos inorgánicos en disolución acuosa: Tener en cuenta que se puede producir alguna reacción con desprendimiento de gases. Bidón específico.
- Disolución acuosa de metales pesados: Bidón específico.
- Disoluciones básicas inorgánicas: Bidón específico.
- Envases de plástico contaminado: Contenedor específico.

Cada laboratorio dispone de los bidones y contenedores necesarios según su actividad y producción.

7.5. Señalización de seguridad

Según el *REAL DECRETO 485/1997, de 14 de abril, en su anexo III*

7.5.1. Señales de advertencia

Forma triangular. Pictograma negro sobre fondo amarillo (el amarillo deberá cubrir como mínimo el 50 por 100 de la superficie de la señal), bordes negros.



7.5.2. Señales de prohibición

Forma redonda. Pictograma negro sobre fondo blanco, bordes y banda (transversal descendente de izquierda a derecha atravesando el pictograma a 45° respecto a la horizontal) rojos (el rojo deberá cubrir como mínimo el 35 por 100 de la superficie de la señal).



7.5.3. Señales de obligación

Forma redonda. Pictograma blanco sobre fondo azul (el azul deberá cubrir como mínimo el 50 por 100 de la superficie de la señal).



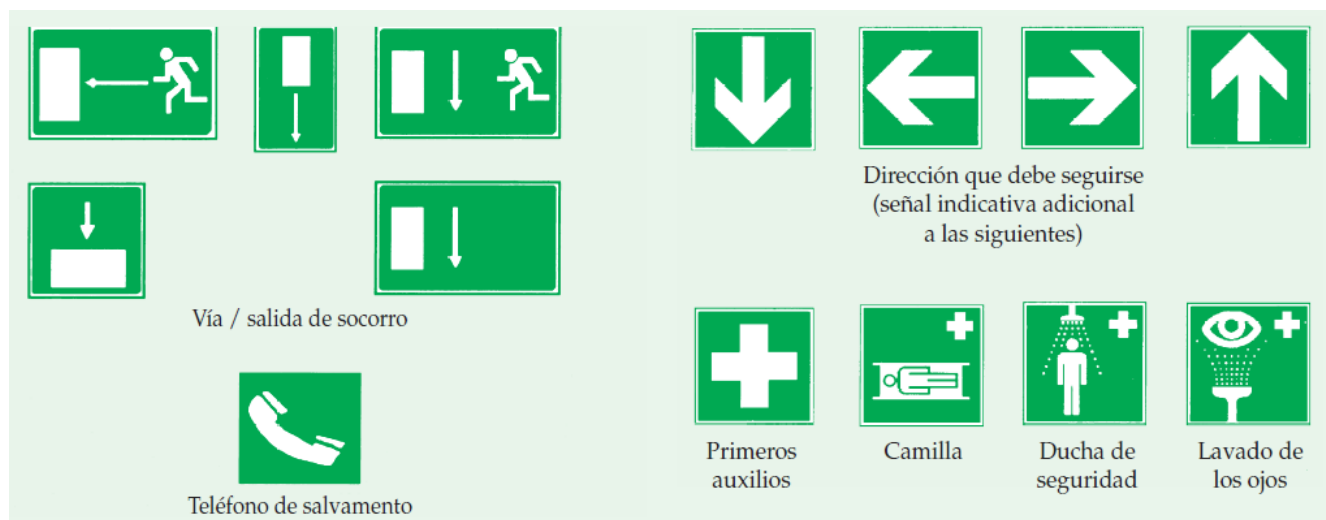
7.5.4. Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios

Forma rectangular o cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo rojo (el rojo deberá cubrir como mínimo el 50 por 100 de la superficie de la señal).



7.5.5. Señales de salvamento o socorro

Forma rectangular o cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo verde (el verde deberá cubrir como mínimo el 50 por 100 de la superficie de la señal).



7.5.6. Riesgos, caídas, golpes y choques

Las franjas deberán tener una inclinación aproximada de 45° y ser de dimensiones similares de acuerdo con el siguiente modelo.

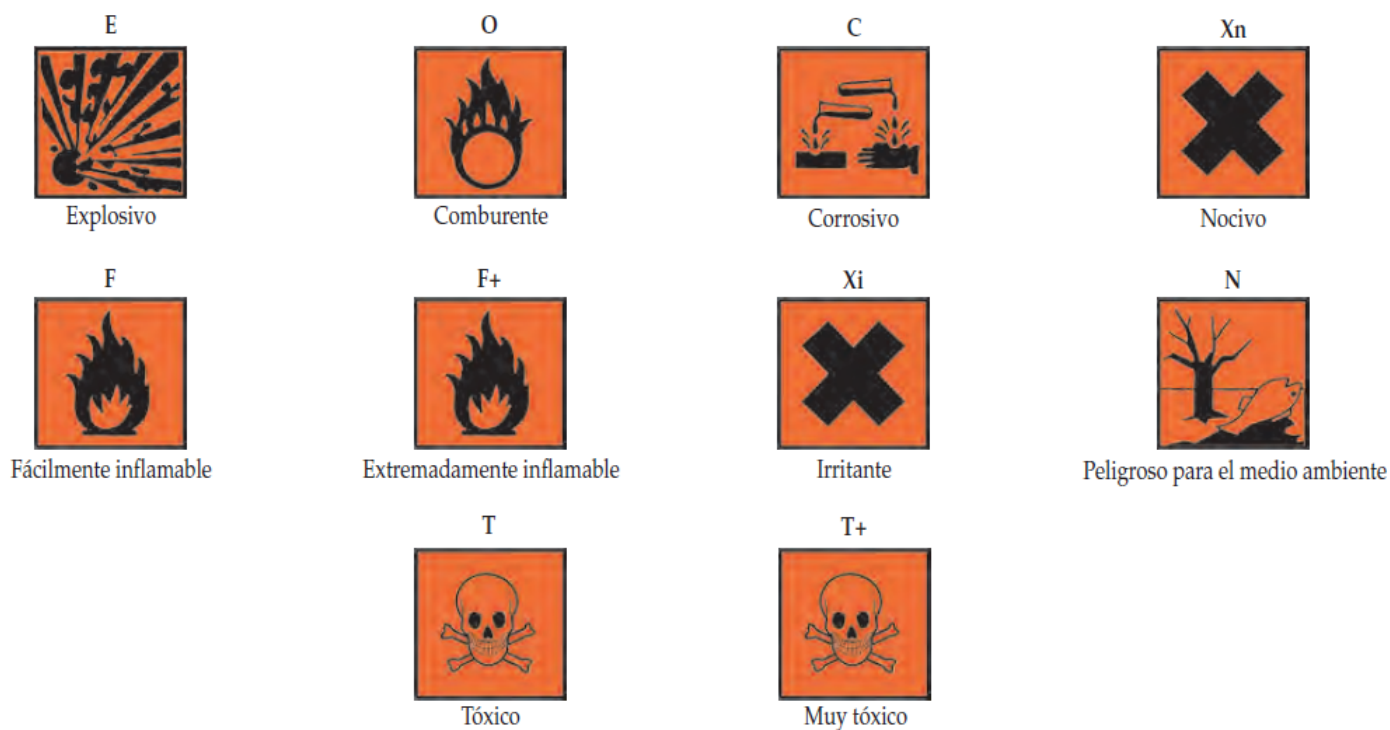


7.6. Etiquetado de productos químicos: Pictogramas y ficha de seguridad (FDS)

En la etiqueta se indicará de manera clara, legible e indeleble:

- Nombre de la sustancia.
- Nombre, dirección completa y número de teléfono del fabricante de la sustancia o de su responsable legal establecido en la UE (Unión Europea).
- Símbolos e indicaciones de peligro, en negro sobre fondo amarillo anaranjado.
- Si una sustancia debe llevar más de un símbolo, la obligación de poner uno de ellos hace facultativa la obligación de utilizar el otro.
- Frases tipo, relativas a los riesgos específicos (frases R) y a los consejos de prudencia (frases S) y, en aquellas sustancias que lo tengan asignado, el número CEE. Consultar Anexo F *Listado de frases R y S, riesgos y consejos*

7.6.1. Pictogramas: Señales de etiquetado de sustancias peligrosas



7.6.2. Ejemplo de etiquetado

Corrosivo	Nº CEE 231-639-5 Nº CEE
	ÁCIDO SULFÚRICO 50 %
C	
R 35 Provoca quemaduras. En caso de contacto con los ojos, lávense inmediatamente y abundantemente con agua y acúdase a un médico. No echar agua a este producto. En caso de accidente o malestar, acuda inmediatamente al médico (si es posible, muéstrela la etiqueta).	S (1/2) 26-30-45
EL VIENTO SL. Av. del Aire s/n - 1221 EL CIERZO T 0123 45 67 89. www.airecillo.es	

7.6.3. Señales de etiquetado SGA

Señales de etiquetado de productos químicos, sistema globalmente armonizado (SGA).



7.7. ficha de de cumplimiento de las Normas de laboratorio y trabajos prácticos

Nombre y apellidos:

Por la presente reconozco haber leído las *Normas de laboratorio y trabajos prácticos* y me comprometo a cumplir todas las normas que se indican en dicho documento.

firma:

Fecha:

7.8. ficha de incidencia

Nombre y apellidos:

Lugar, momento y fecha en la que ocurrió:

Descripción del suceso: ¿Qué ha ocurrido? ¿Cómo se ha actuado? ¿Cómo ha terminado?

Reactivos, objetos, instrumentos, aparatos y fuentes de energía involucradas:

Personas afectadas:

Medicamentos suministrados, pomadas, antisépticos, sueros, maniobras llevadas a cabo. ¿Se le ha dado de comer o de beber? ¿El qué?

Responsable de la actividad:

Equipos de protección y recursos de auxilio utilizados:

Contactos externos realizados:

Deficiencias detectadas:

firma:

Fecha:

7.9. Contactos para Urgencias

- Emergencias: 112
- Instituto Nacional de Toxicología 915 62 04 20

7.10. Referencias y fuentes de información

<https://www.spr1.upv.es/pdf/gu%EDa%20pr%E1cticas%20alumnos%20riesgo%20qu%EDmico.pdf>

<http://www.uclm.es/cr/fquimicas/>

Guía primeros auxilios SAMUR

<http://www.dixformacio.com/.cm4all/mediadb/Links%20Interes/Guia%20de%20primeros%20auxilios%20SAMUR.pdf>

Señalización de seguridad y salud en el trabajo REAL DECRETO 485/1997, de 14 de abril

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/{f}{i}cheros/senal.pdf>

http://nobel.scas.bcit.ca/debeck_pt/science/safetyContract.htm

<http://www.cpsc.gov//Page{f}{i}les/122344/NIOSH2007107.pdf>

<http://infohouse.p2ric.org/ref/19/18536.pdf>

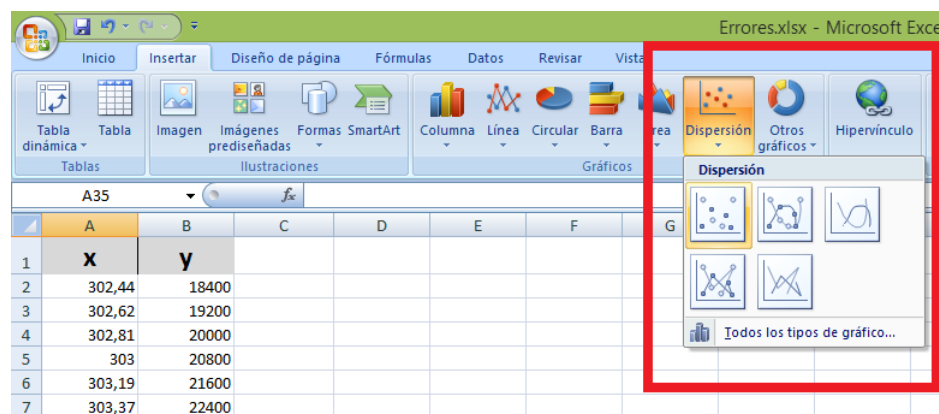
https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig66201/informacion_academica/Seguridad_en_el_laboratorio.pdf

Apéndice A

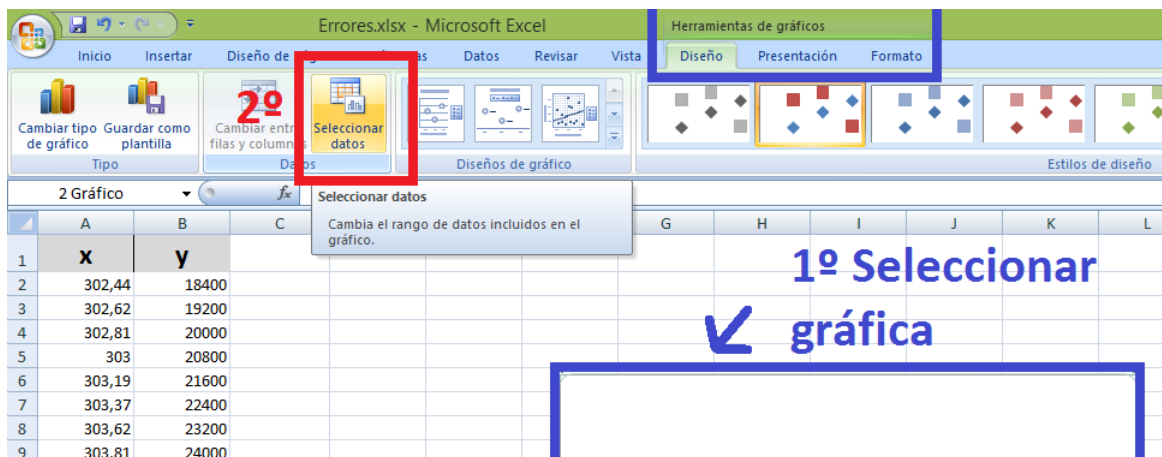
Gráficas con Excel

A.1. Diagrama de dispersión

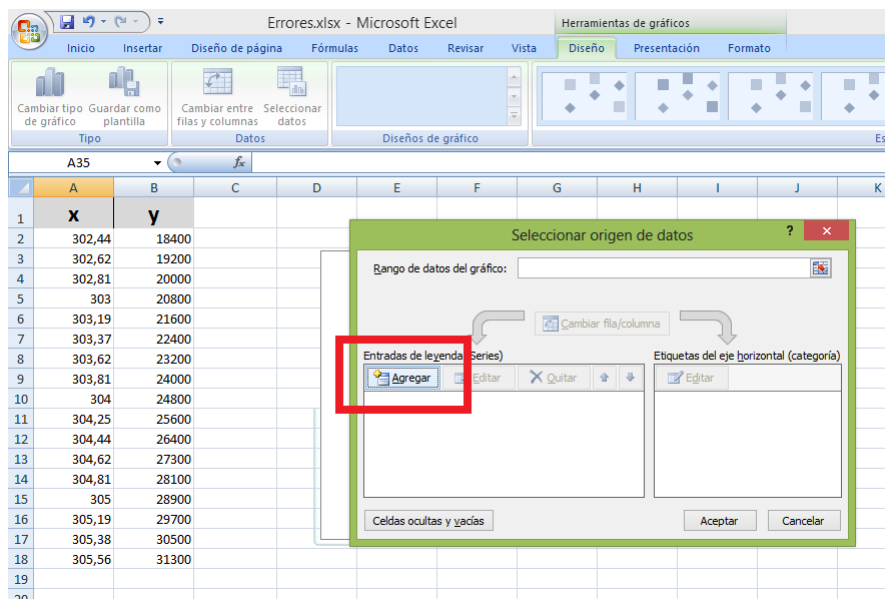
1. En la hoja de cálculo, se preparan 2 columnas X | Y , con los pares de datos a representar. En el menú de herramientas Insertar se selecciona Dispersión y se escoge el tipo de gráfico deseado.



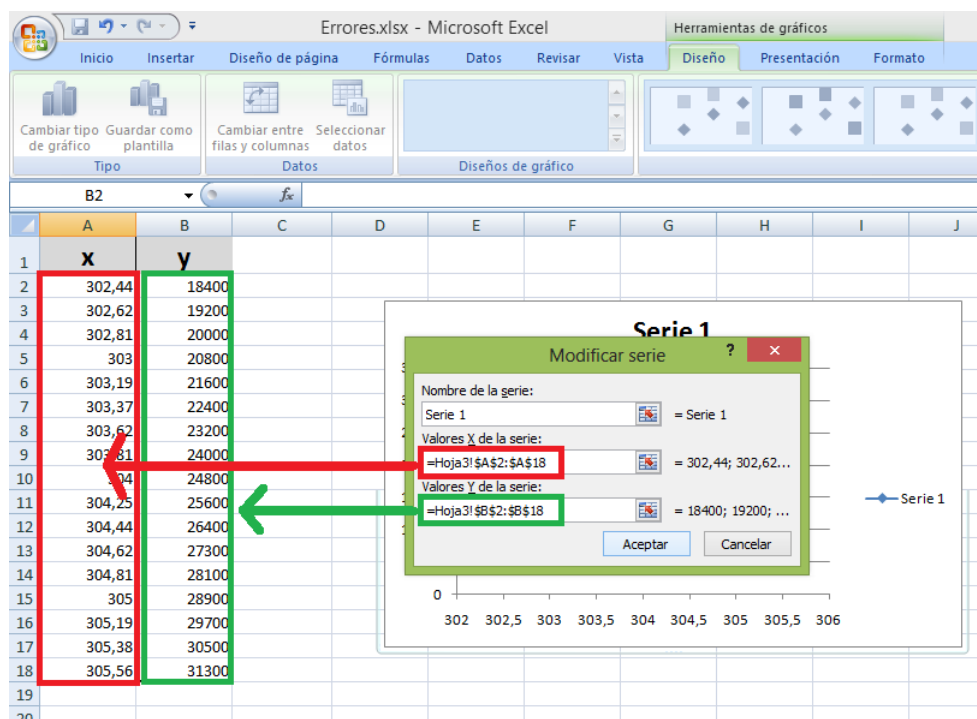
2. Se selecciona la gráfica para que se activen las Herramientas de gráficos. En el menú Diseño se pincha Seleccionar datos.

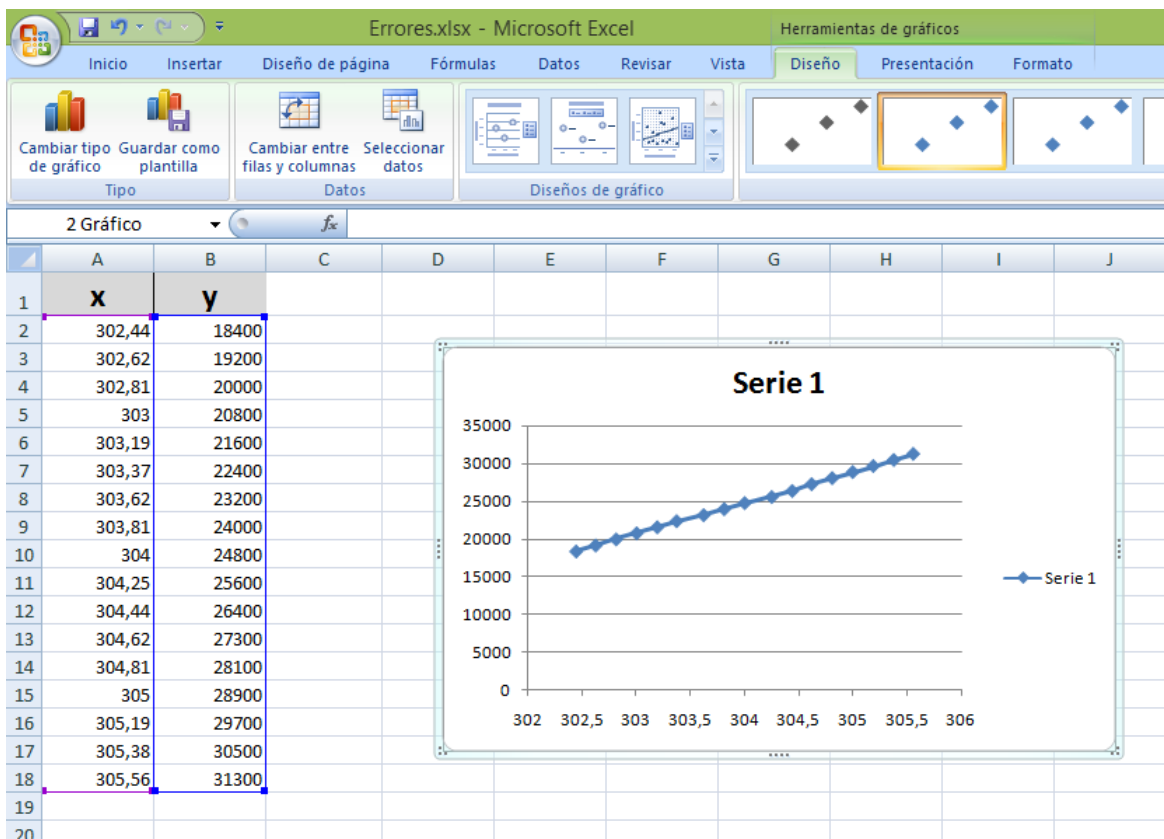


- En la ventana que se abre, seleccionamos Agregar serie.



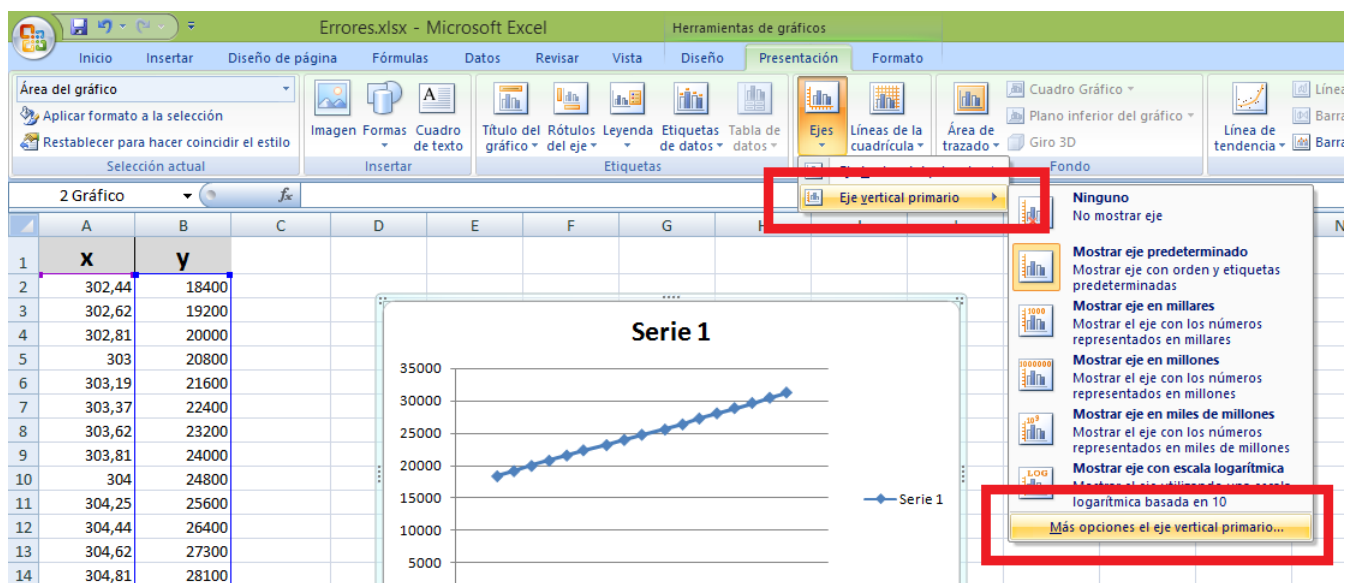
- En la nueva ventana se introduce 1º Nombre de la serie, 2º Conjunto de datos de las X (seleccionando las celdas de la columna de las X) y 3º conjunto de datos de las Y. Después Aceptar.



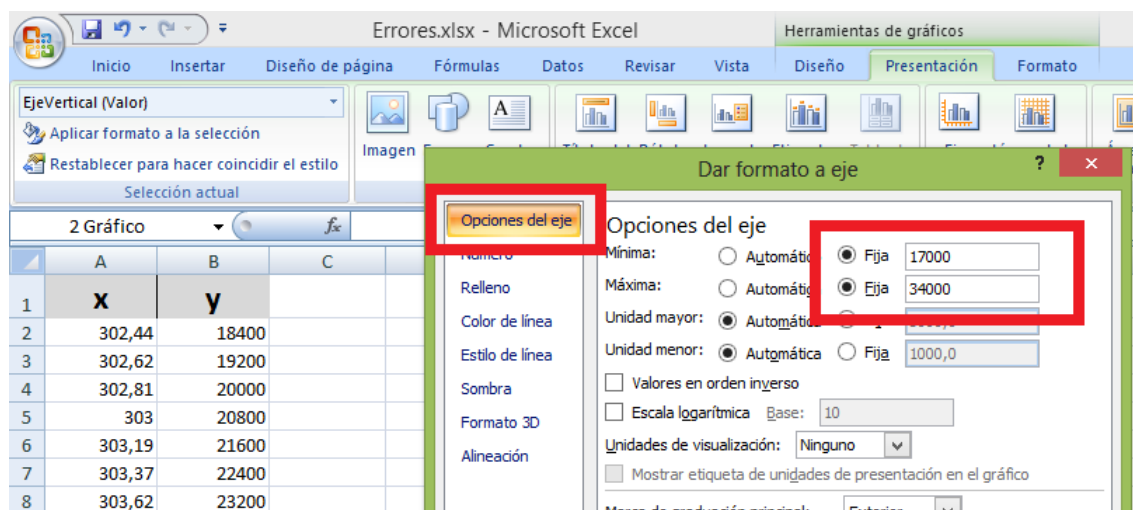


A.2. Definir rangos, títulos y tipo de gráfico

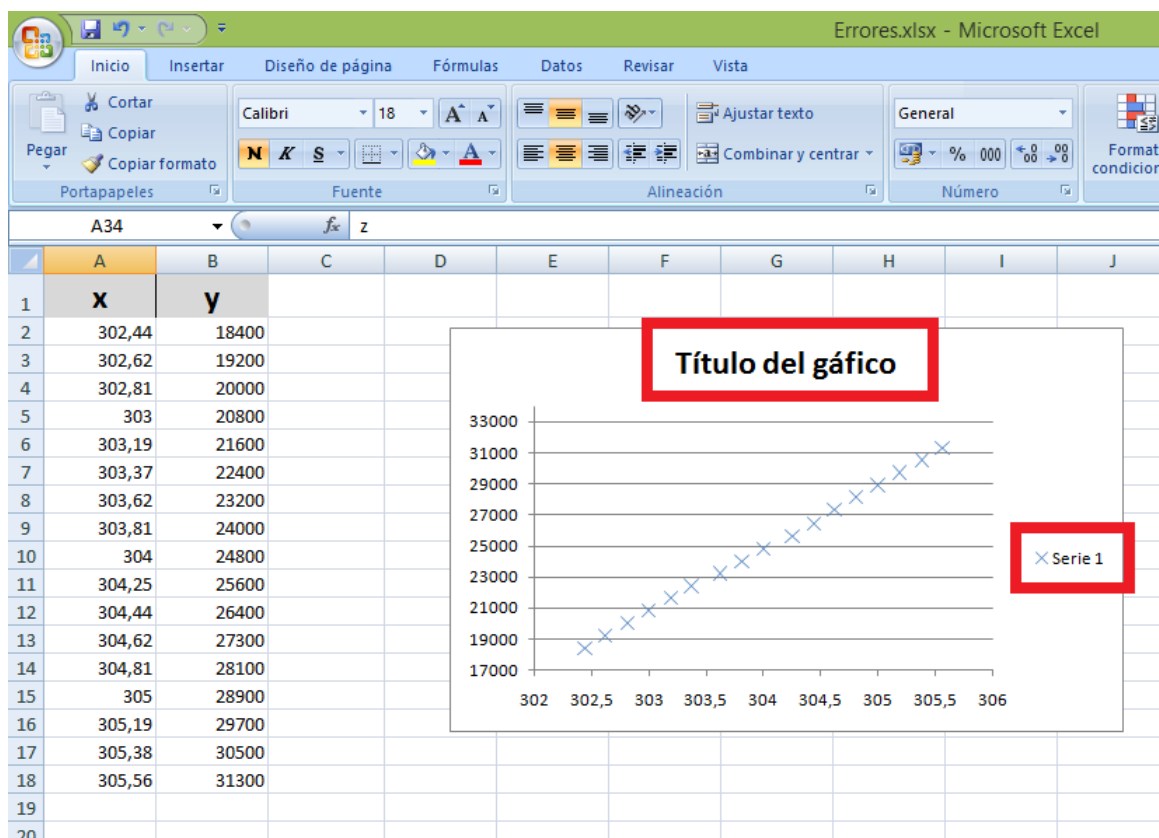
1. Para ajustar el intervalo que se muestra del eje vertical, se pincha sobre la gráfica y en el menú Presentación se selecciona Ejes, dentro Eje vertical y luego Más opciones de eje vertical primario.



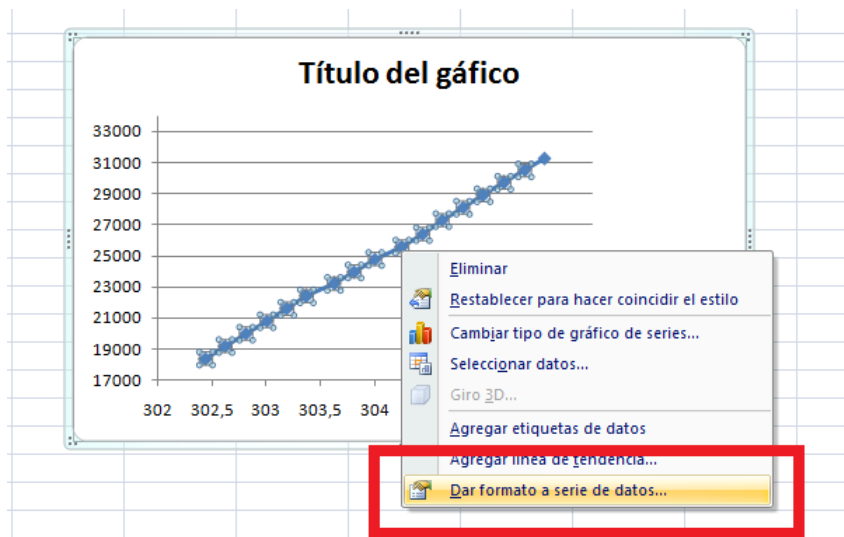
En la ventana que se abre, dentro de Opciones de eje , en Máxima y Mínima, se selecciona fija y se introducen los valores deseados.



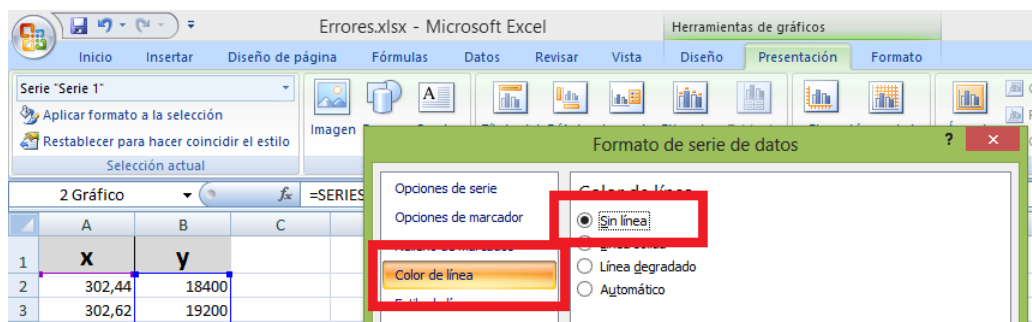
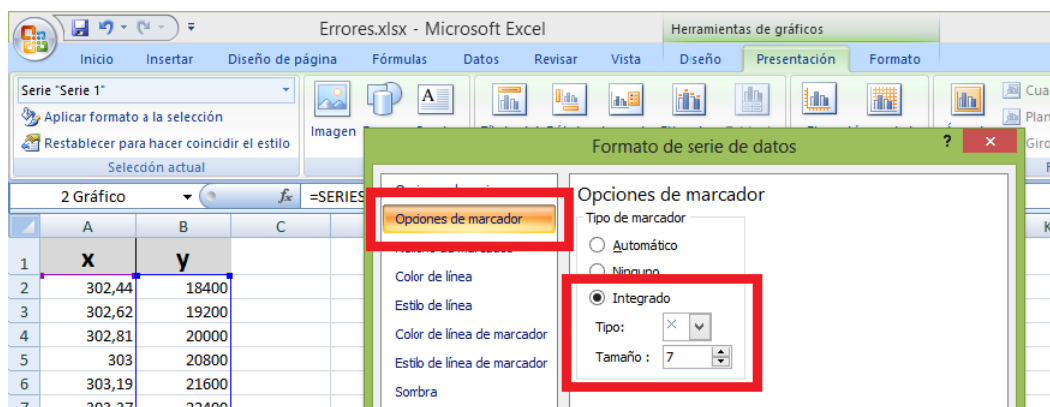
2. Para cambiar los rótulos de los títulos, de la leyenda o de los ejes, se seleccionan y se editan como un texto normal con las herramientas del menú Inicio.



- Para cambiar el tipo de representación, es decir el punto o la línea, primero se selecciona un punto cualquiera de la gráfica con el Botón derecho del ratón. En el menú emergente, se selecciona Dar formato a la serie de datos.



En la ventana que aparece, en Opciones de marcador, se selecciona Tipo Integrado y Tipo 'X'. En Color de línea, se selecciona Sin línea.

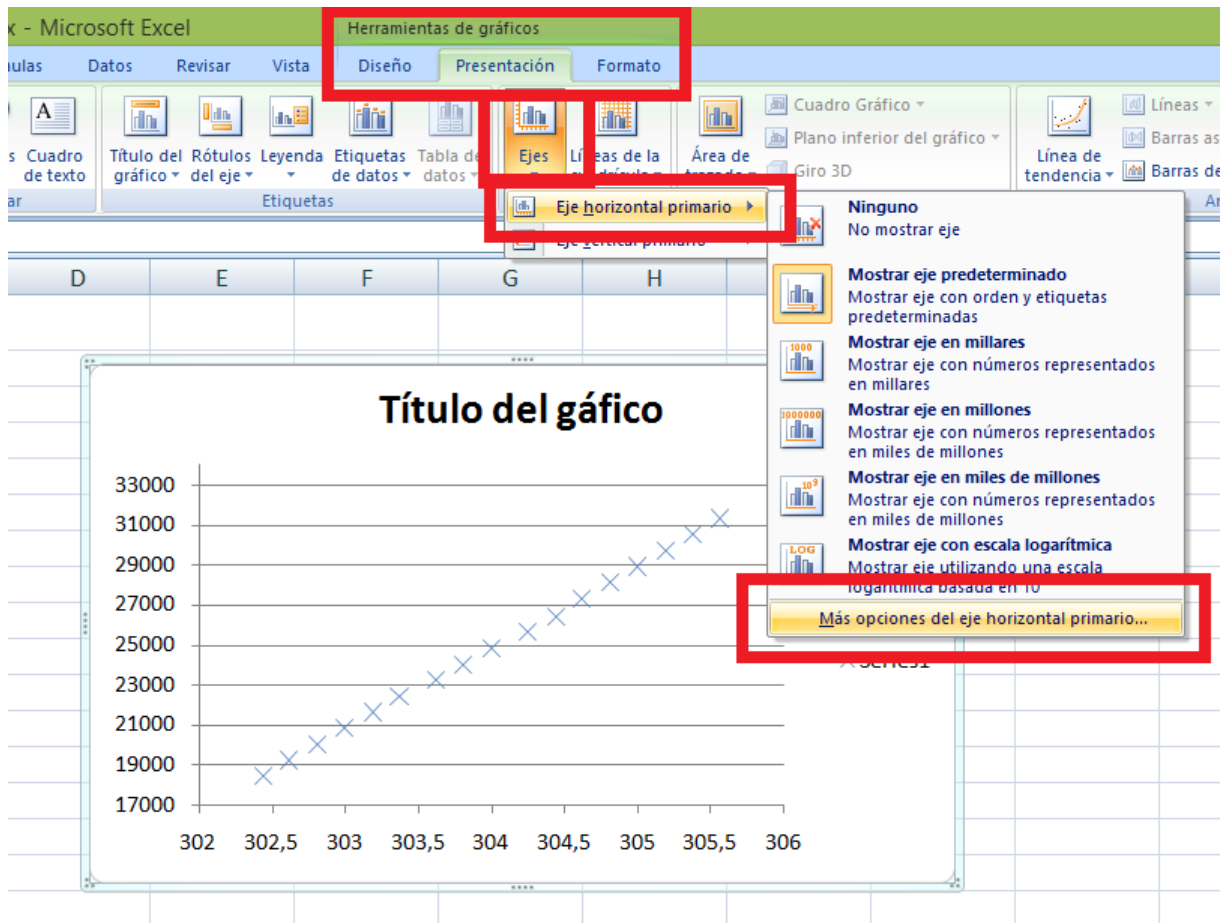


En este paso se ha configurado que los datos aparezcan como X aspas, pero se puede poner como se desee en cada caso.

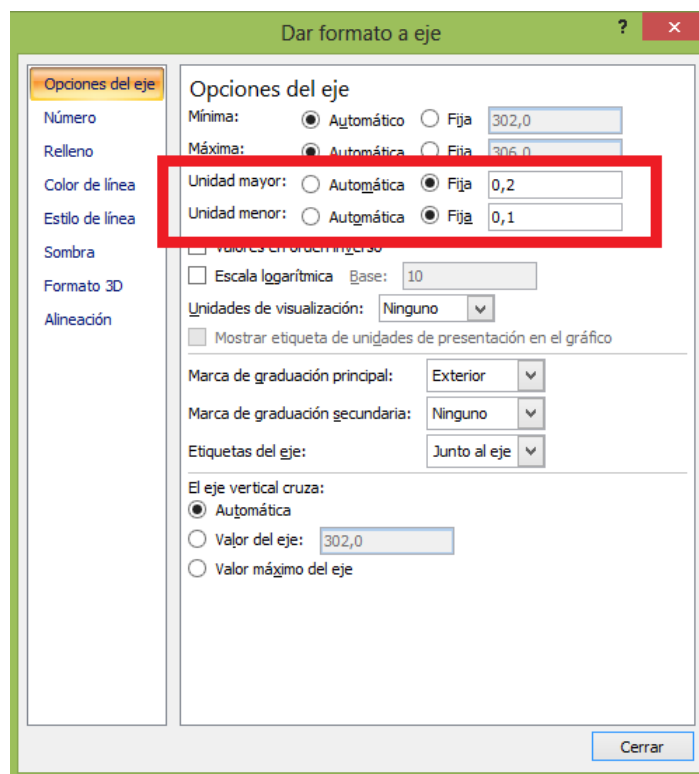
A.3. Marcas de eje y líneas de cuadrícula

Primero se establecen las marcas del eje horizontal y las líneas verticales y después el eje vertical y las líneas horizontales.

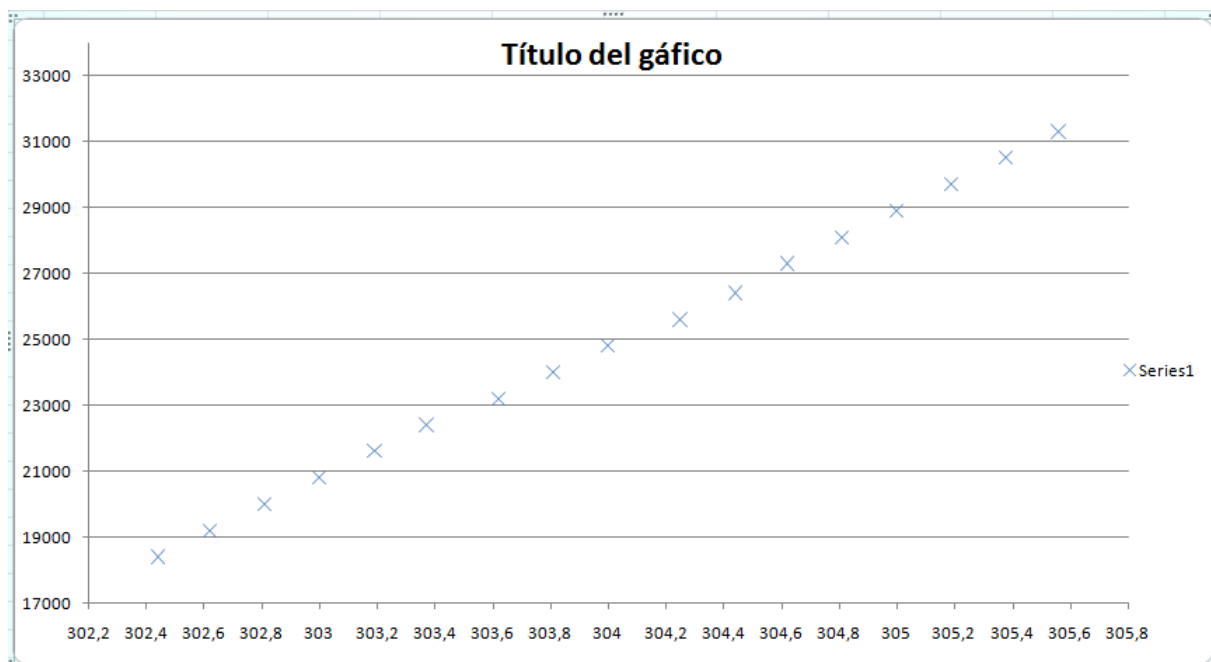
1. Para establecer las marcas deseadas: En el menú 'Presentación' de la gráfica, dentro de 'Ejes' se selecciona 'Eje horizontal primario' y 'Más opciones'.



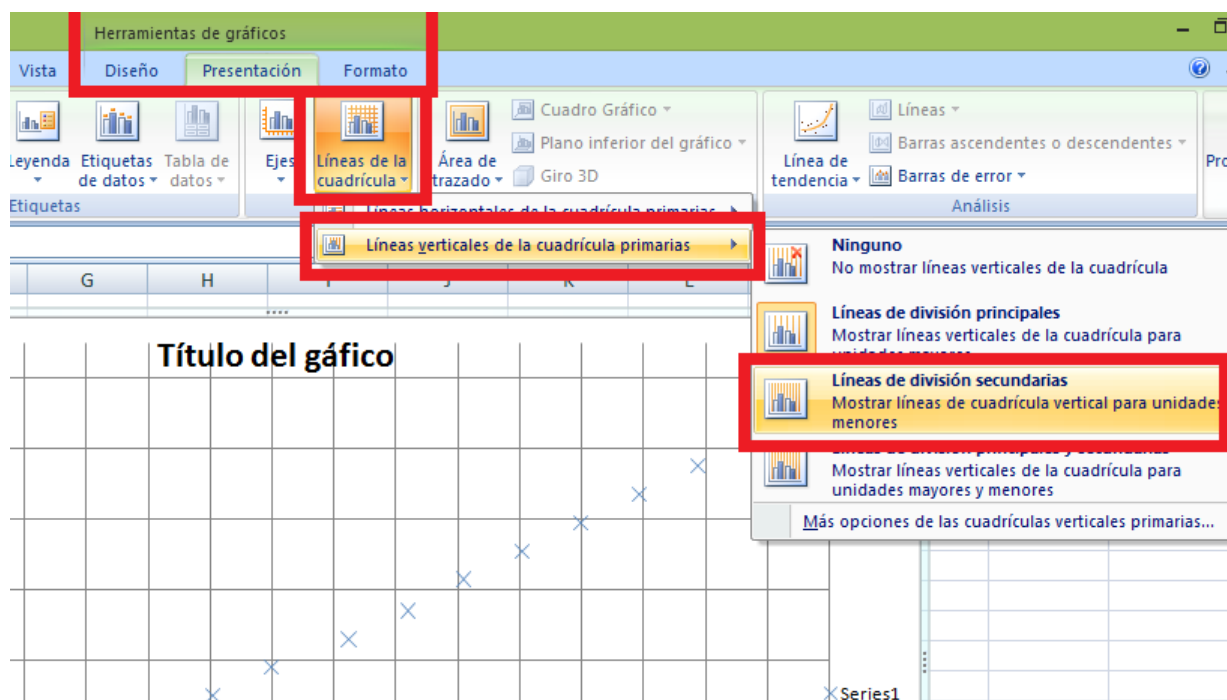
2. En la nueva ventana se elige 'Unidad mayor' y 'Unidad menor' fijas y se les da el valor deseado.



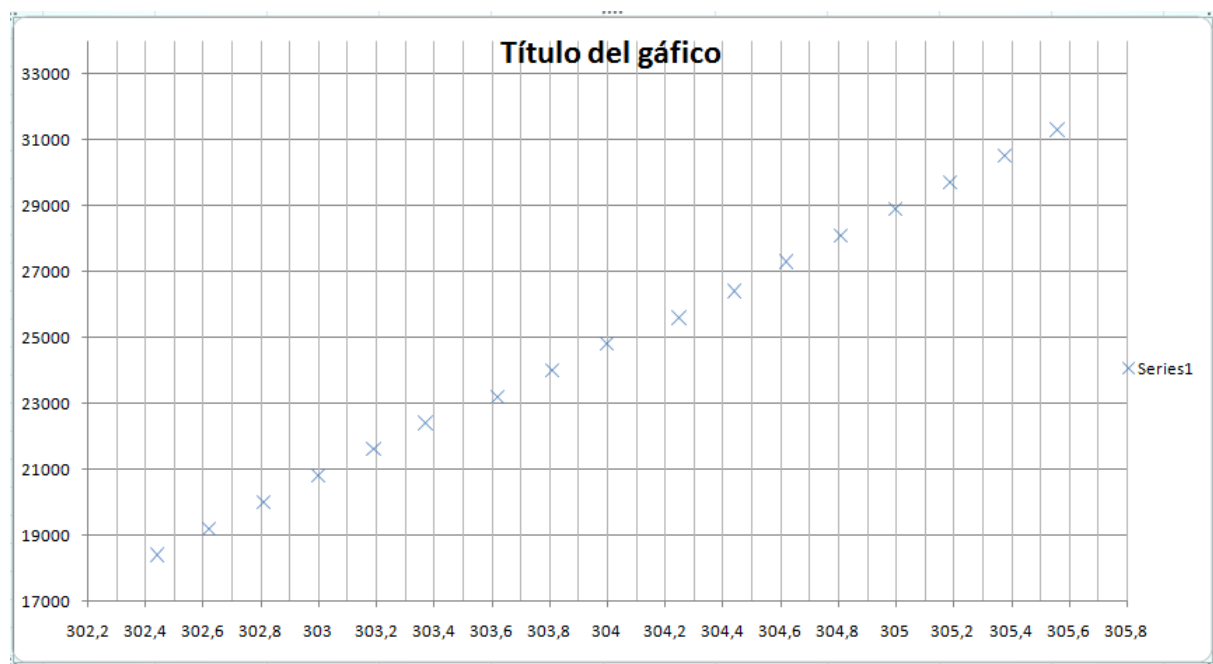
Y cambian las marcas del eje X: Se muestran números solo para las 'Unidades mayores'.



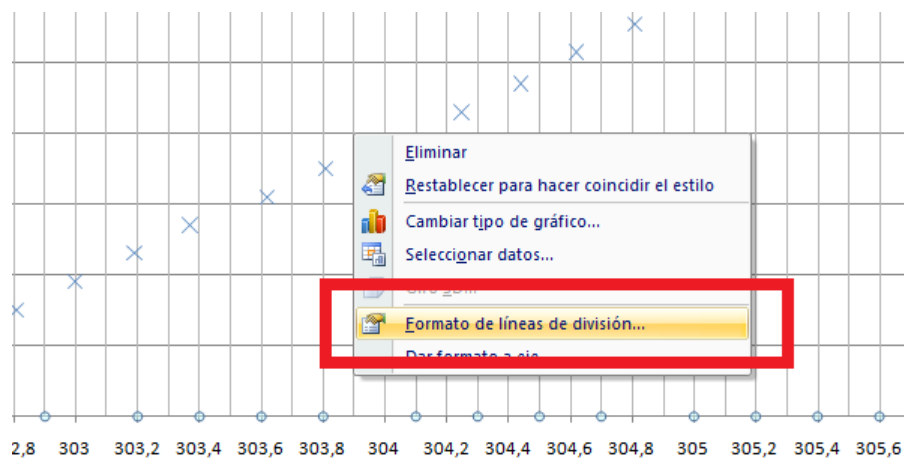
3. Para establecer las líneas verticales: Dentro del menú 'Presentación', dentro de 'Líneas de la cuadrícula' se selecciona 'Líneas verticales de la cuadrícula primarias' y finalmente 'Líneas de división secundarias' o principales, según se quiera.



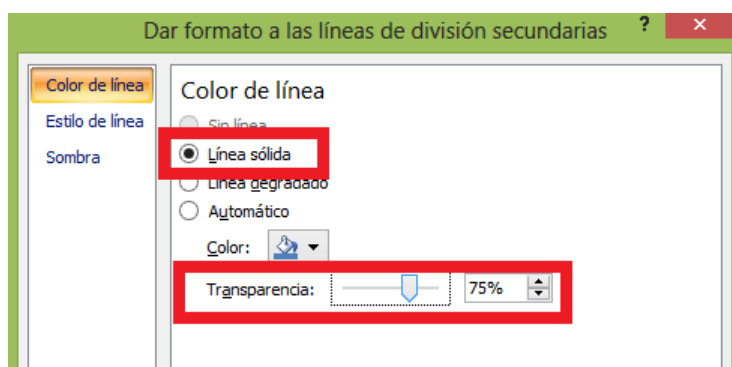
Y cambian las líneas de cuadrícula verticales.

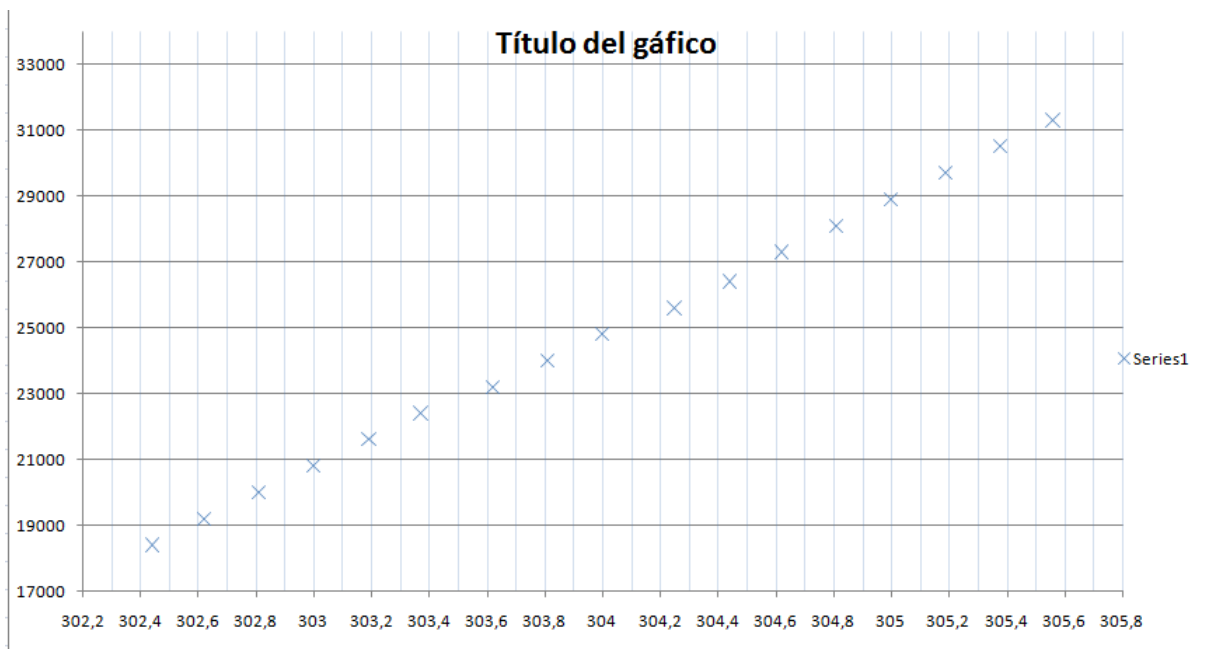


4. Se cambia el color de las líneas para que no dificulten la observación de los puntos representados:
Se selecciona, con el botón derecho del ratón, una línea de división cualquiera y se selecciona 'Formato de líneas de división'.

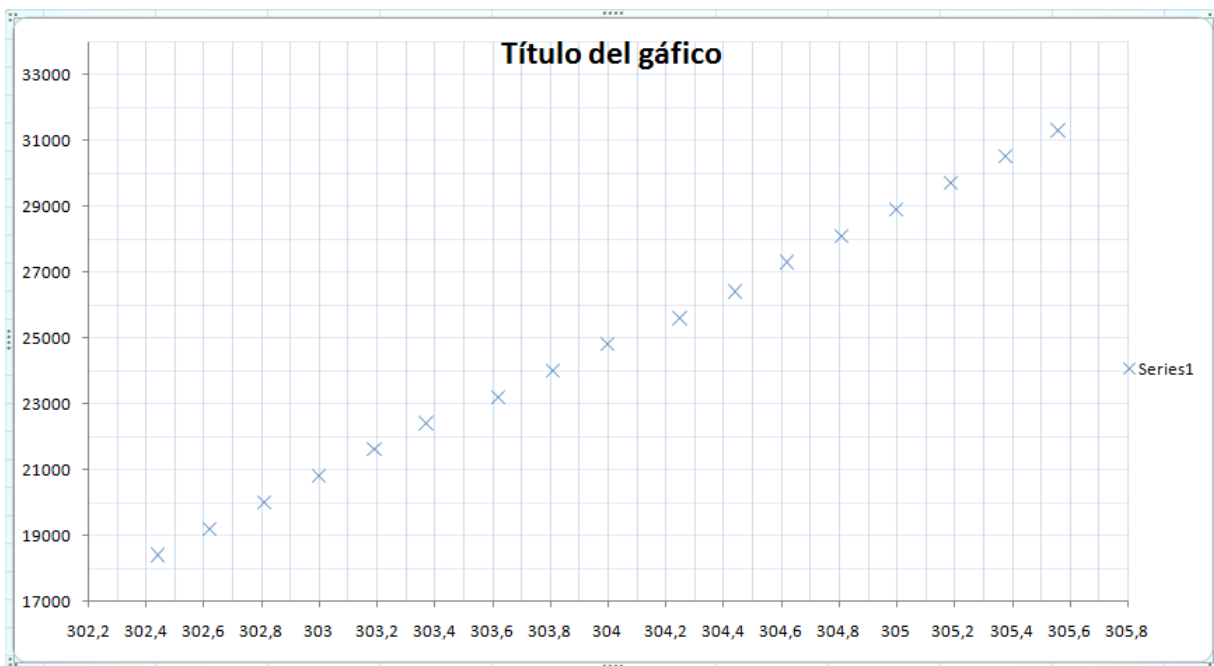


5. Y se pone la apariencia deseada.





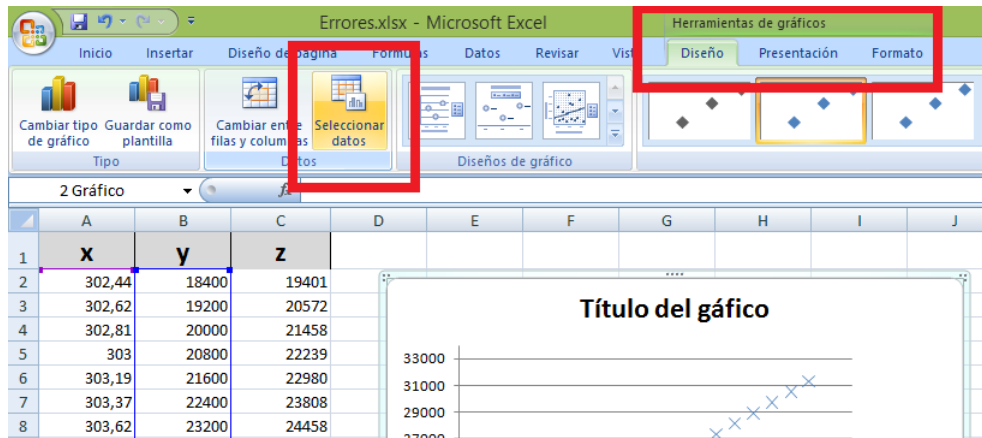
6. Haciendo lo mismo para el eje vertical y las líneas de cuadrícula horizontales.



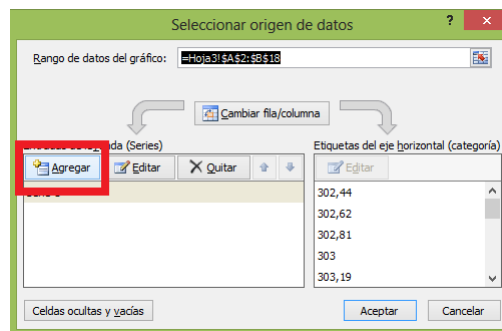
Las divisiones de cada eje no tienen por qué ser iguales. En cada caso se dan los valores apropiados para la escala del eje.

A.4. Añadir otra serie al diagrama

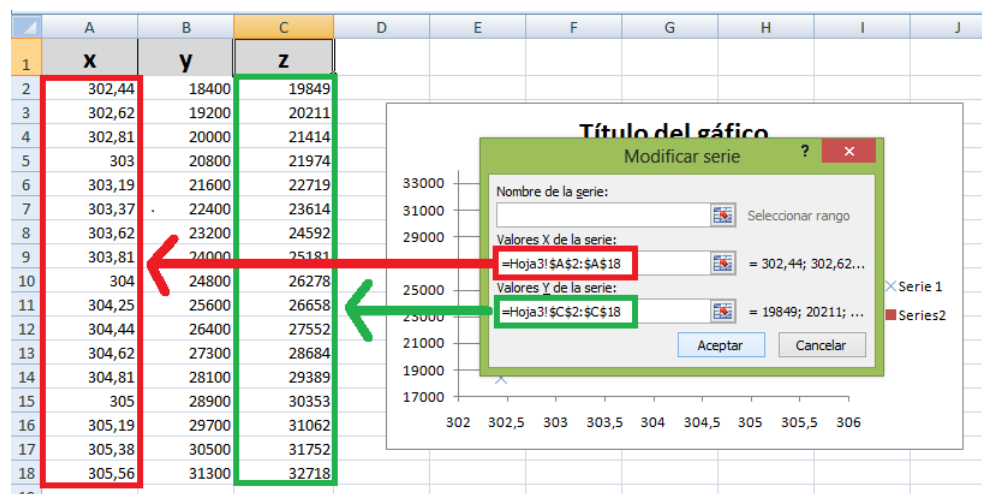
1. Para añadir, quitar o modificar series de datos, primero se pincha sobre la gráfica y en el menú Diseño, se elige seleccionar Datos.



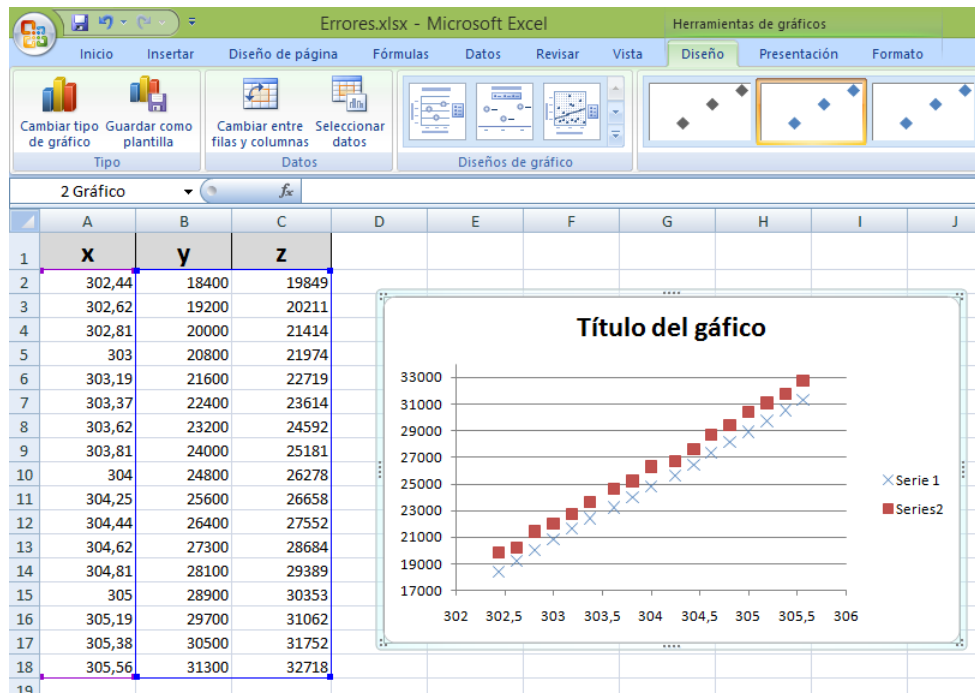
2. En la ventana que aparece se selecciona Agregar.



3. En la nueva ventana se introduce: 1º el nombre de la serie, 2º la columna de las X y 3º la columna de las Y.

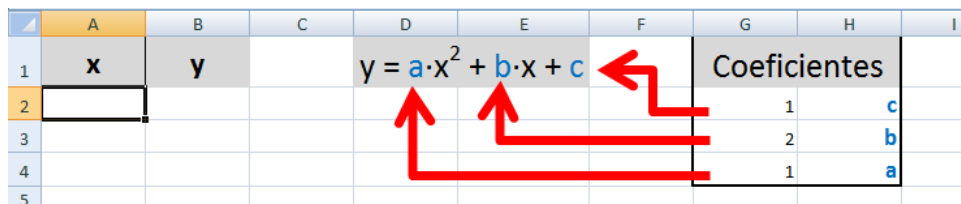
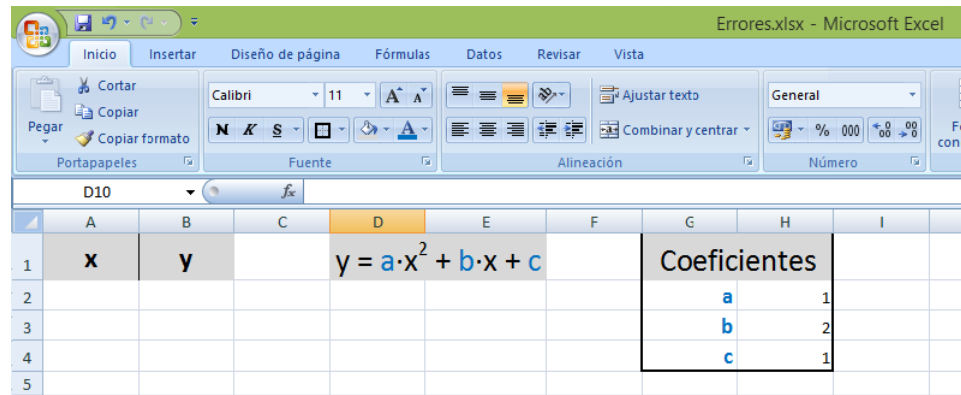


Y se obtiene la representación de las dos series.

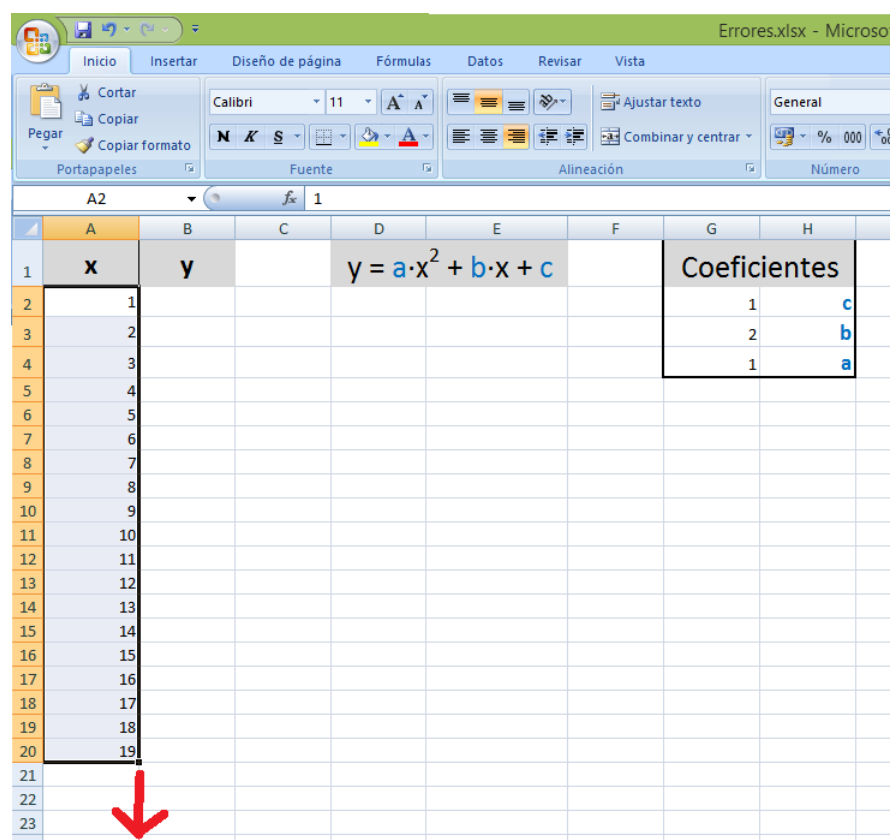
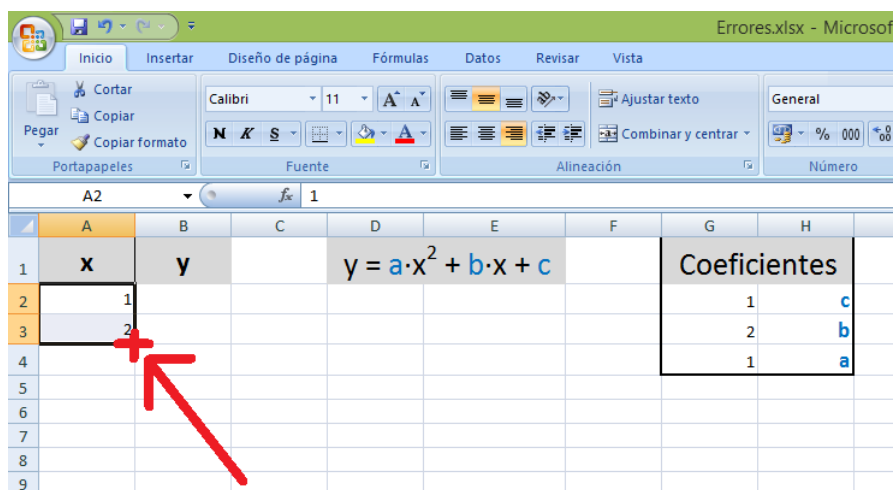


A.5. Gráfica de una función a partir de su ecuación

1. Se preparan 2 columnas X | Y y celdas con los valores de los parámetros de la ecuación.

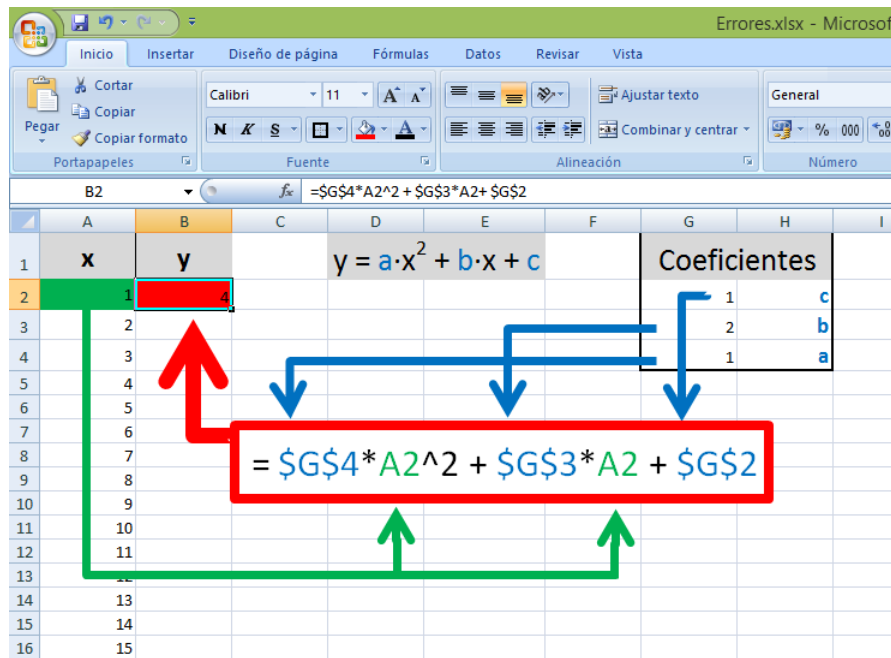


2. Se escriben las dos primeras celdas de la variable independiente, se seleccionan las dos y se arrastra hacia abajo.

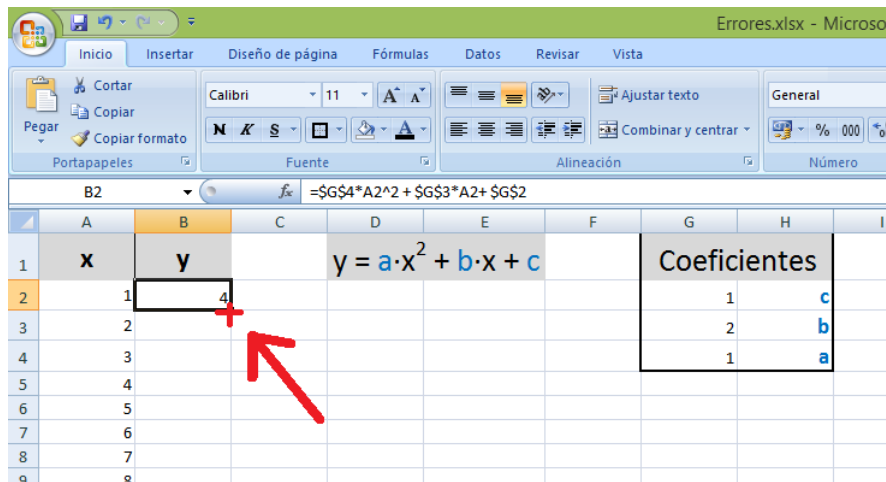


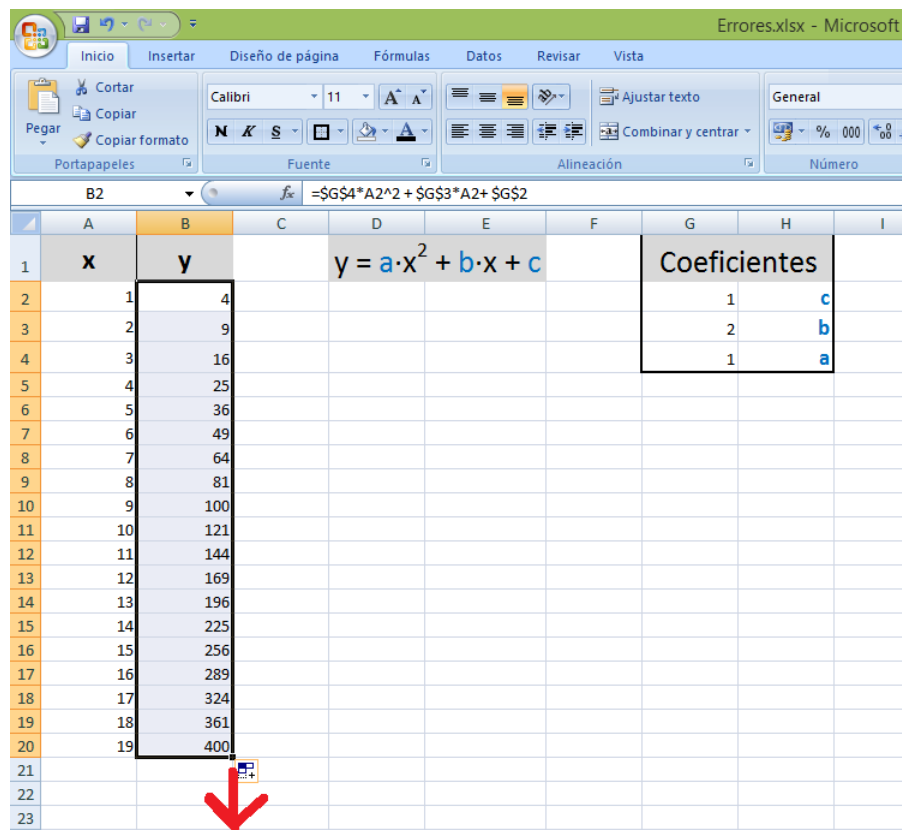
3. En la primera celda de la columna Y se introduce la ecuación de la función sustituyendo las x y los parámetros por sus celdas respectivas.

- Para los parámetros, como su valor es constante hay que escribir sus celdas con \$ intercalados, por ejemplo \$G\$4.
- Para que Excel interprete la ecuación de una celda, hay que comenzar escribiendo el símbolo igual '='.



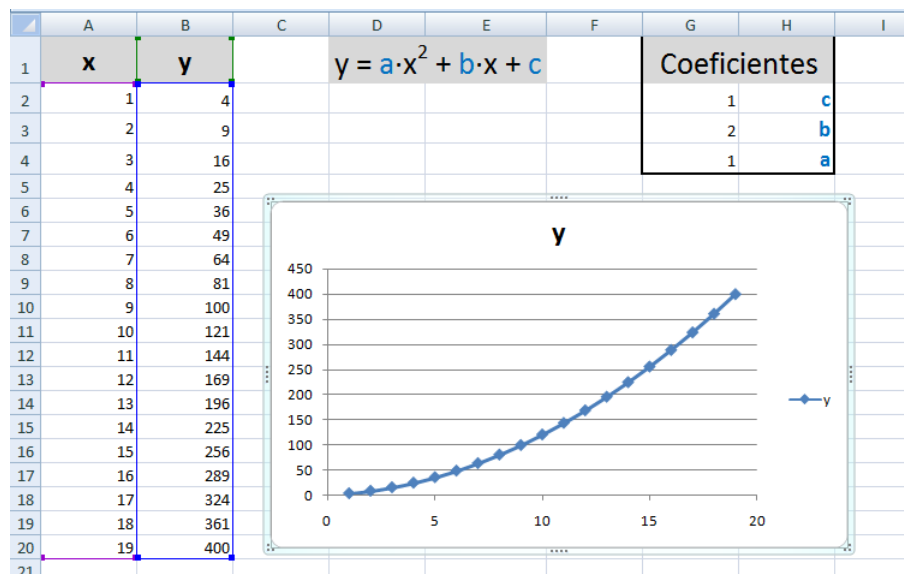
4. Se selecciona la celda definida y se arrastra hacia abajo.



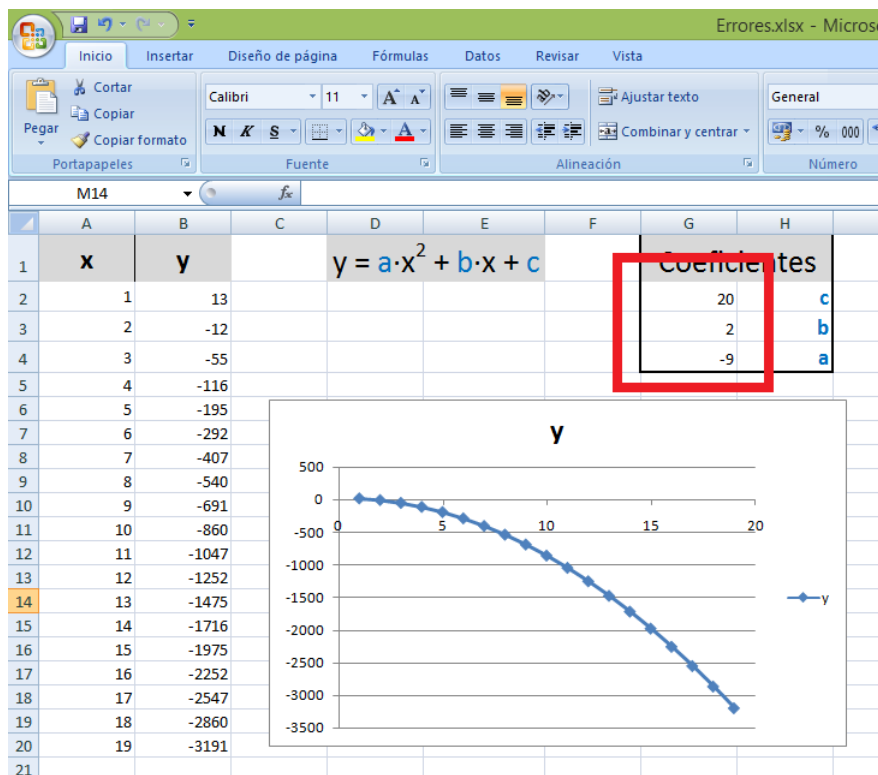


Así se obtienen todos los pares de valores x , y .

5. Con las columnas X | Y ya completadas, se inserta un diagrama de dispersión.

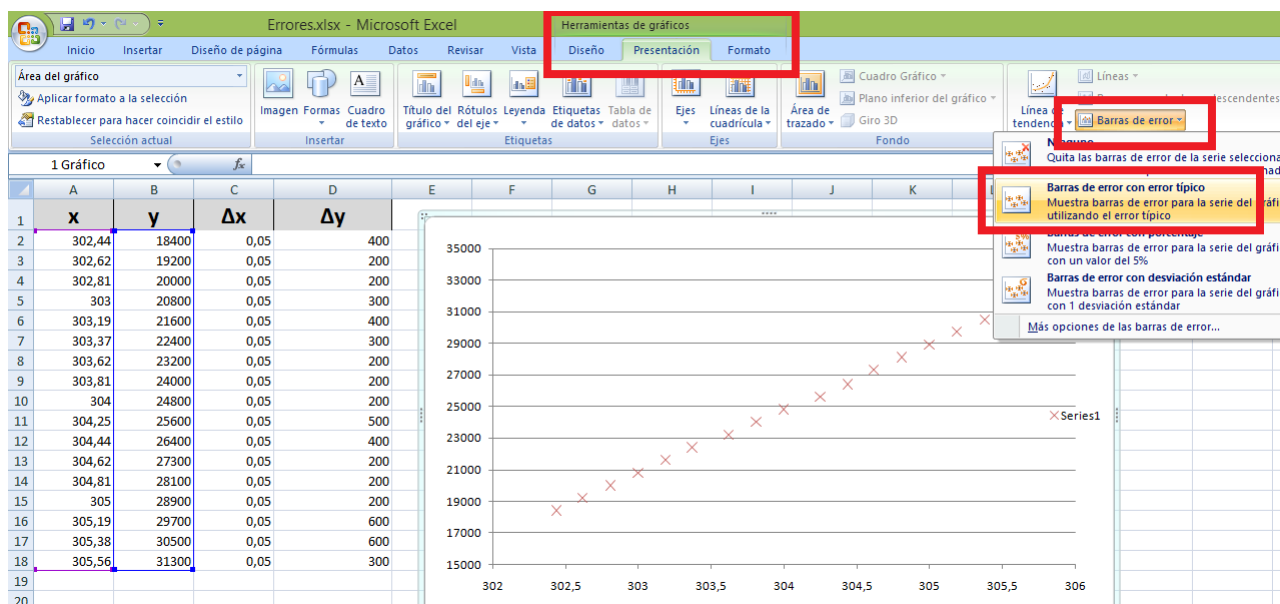


6. Ahora, al variar los valores de los parámetros, varían también las celdas de Y y la gráfica.

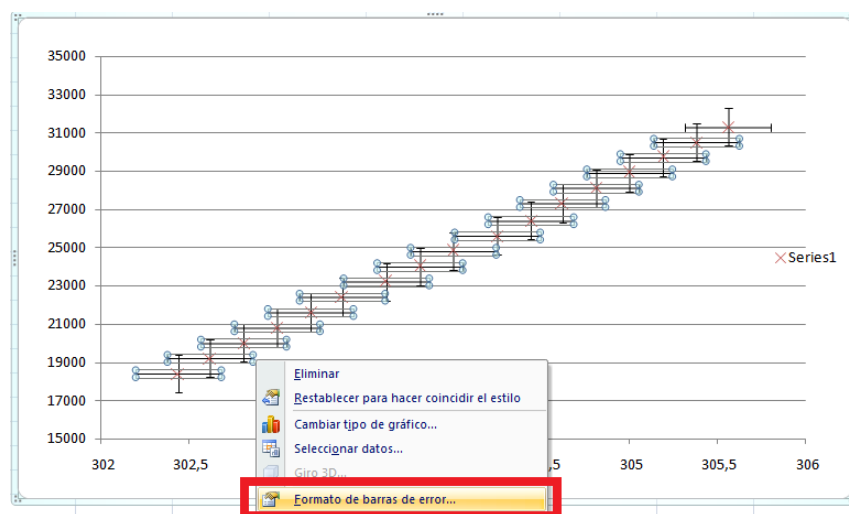


A.6. Diagrama de dispersión con barras de error con Excel

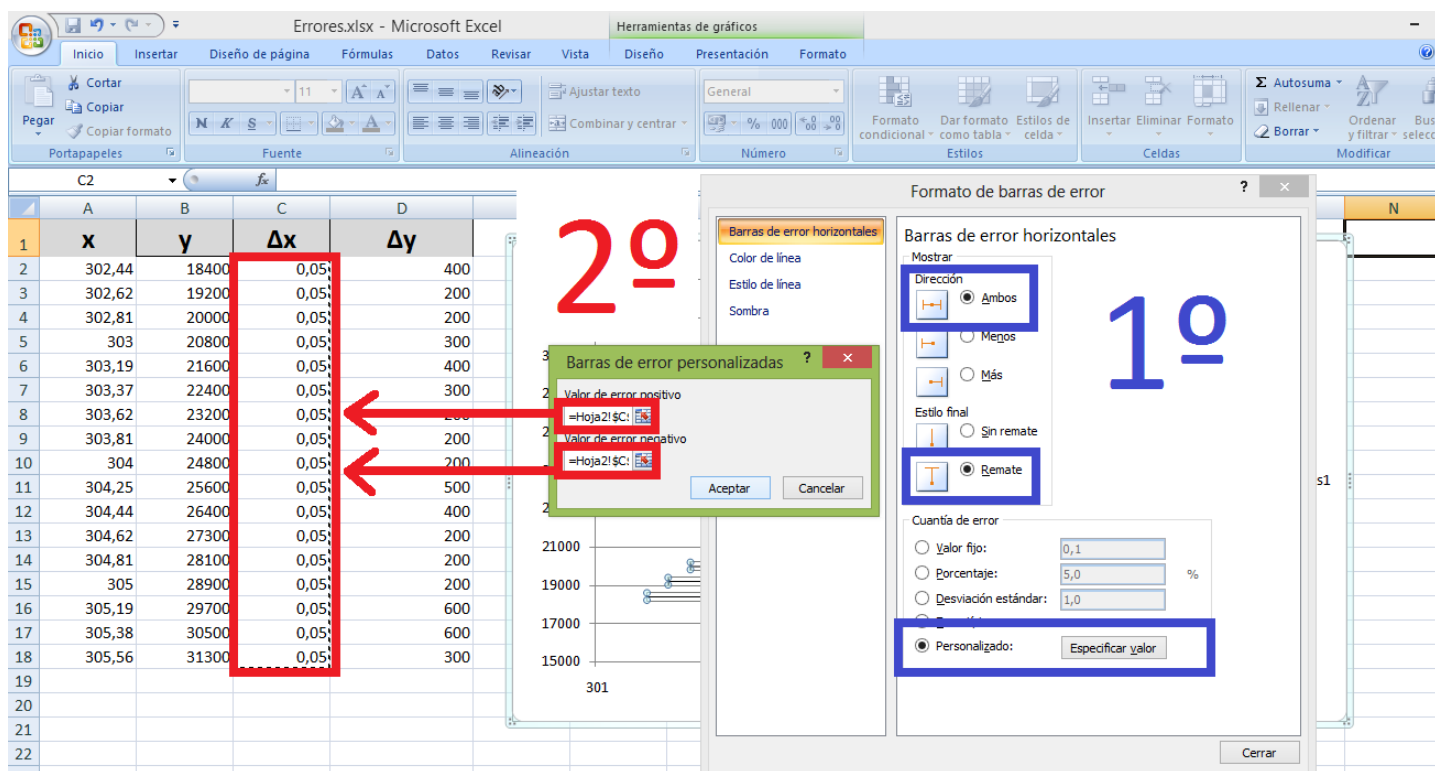
1. Se preparan 4 columnas con las cabeceras: x | y | Δx | Δy
2. En las columnas x_i y_i ponemos los datos y en las Δx Δy sus errores respectivamente.
3. Se inserta una Gráfica tipo Dispersión. Pinchamos sobre un punto cualquiera y cambiamos el Marcador a aspa X.
4. Con la gráfica seleccionada vamos a las herramientas de Presentación y en Barras de error, se selecciona Barras de error con error típico. Entonces aparecen las barras de error verticales y horizontales.



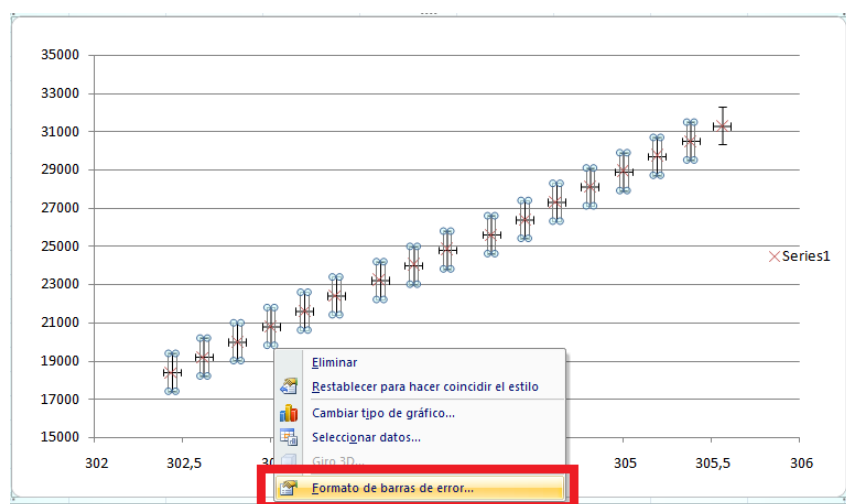
- Se introduce el valor correcto de las Barras de error horizontales: Para ello se selecciona una barra horizontal cualquiera, se pulsa el botón derecho del ratón y se selecciona Formato de barras de error.



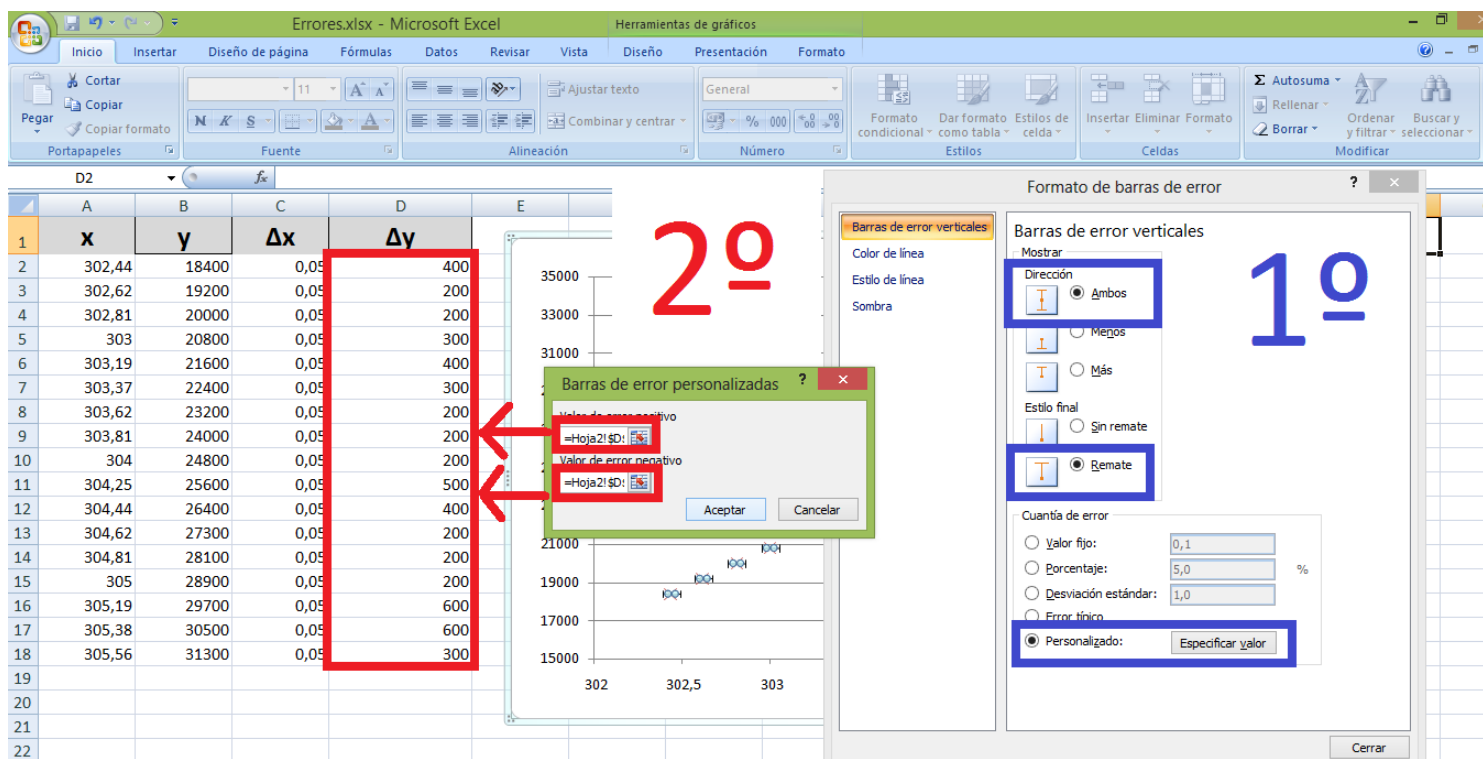
- Se abre una ventana y se selecciona Cuantía del error Personalizado. Dentro de la nueva ventana se introduce la columna Δx_i tanto en el Valor negativo como en el Valor positivo.



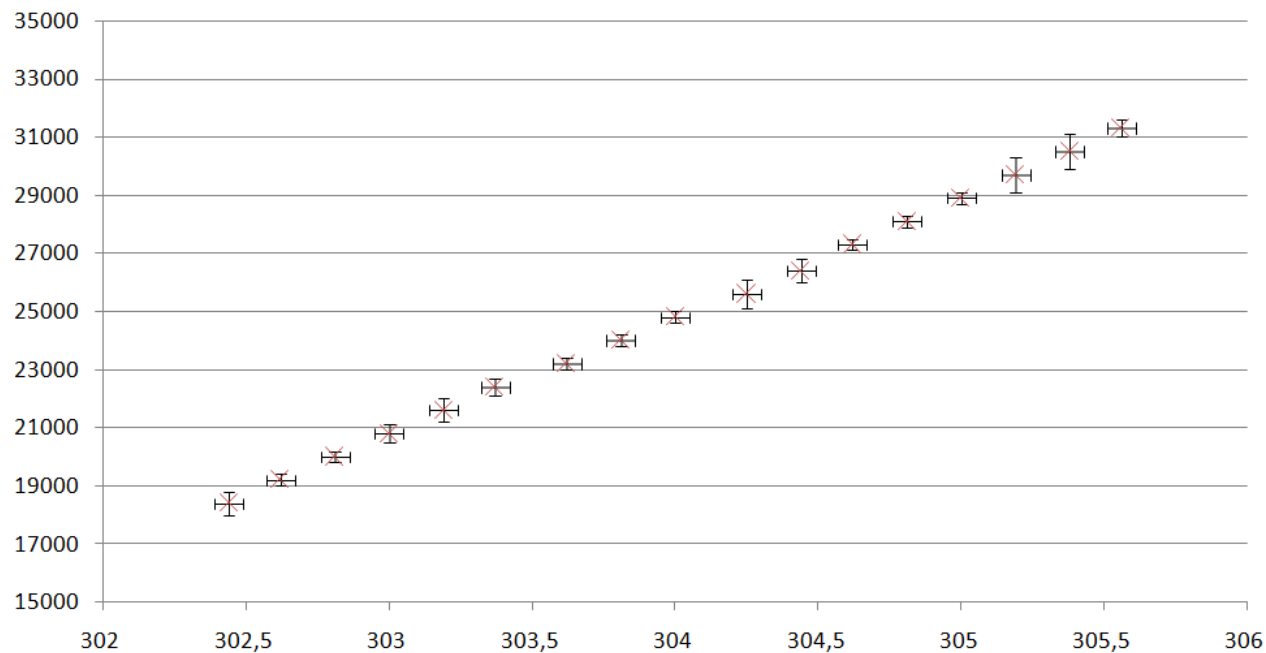
7. Se introduce el valor correcto de las Barras de error Verticales: Para ello se selecciona una barra vertical cualquiera, se pulsa el botón derecho del ratón y se selecciona Formato de barras de error.



8. Se abre una ventana y se selecciona Cuantía del error Personalizado. Dentro de la nueva ventana se pone tanto en el Valor negativo como en el positivo la columna Δy_i , sin el título.

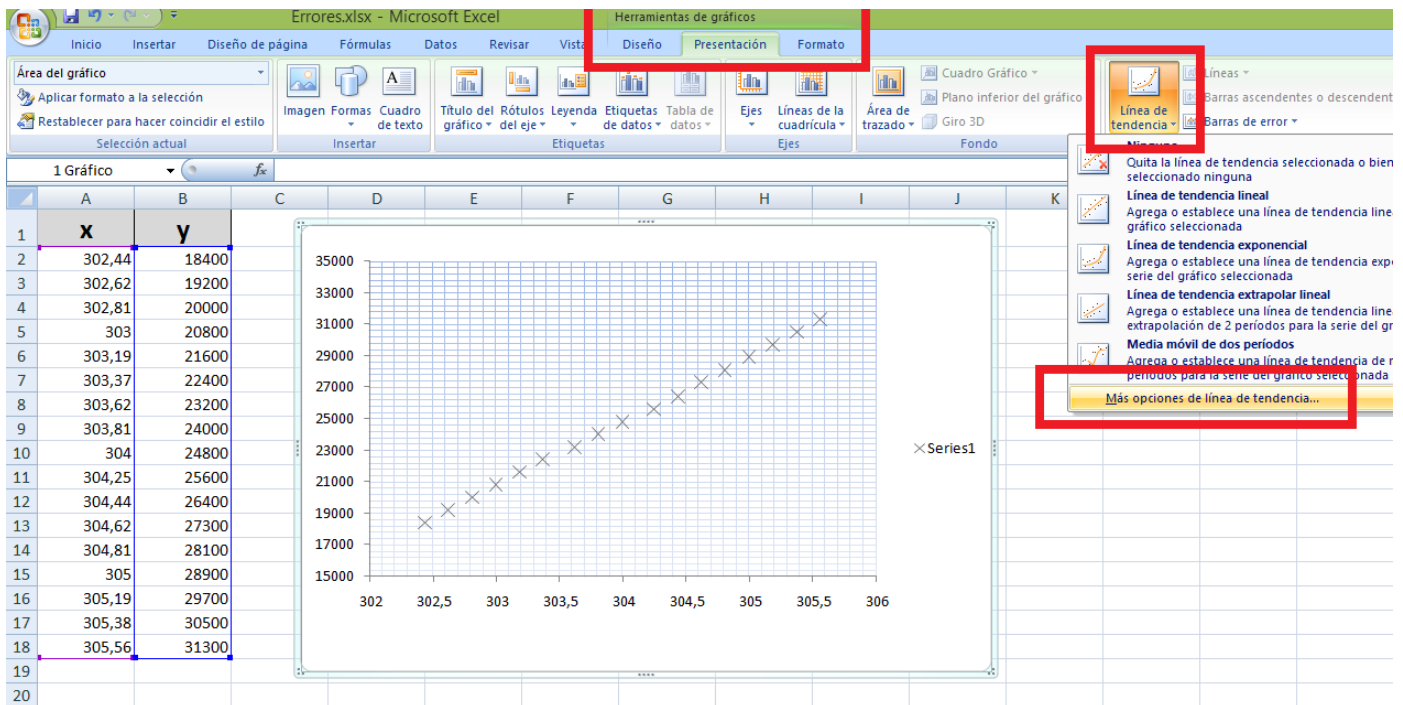


Y el resultado es:



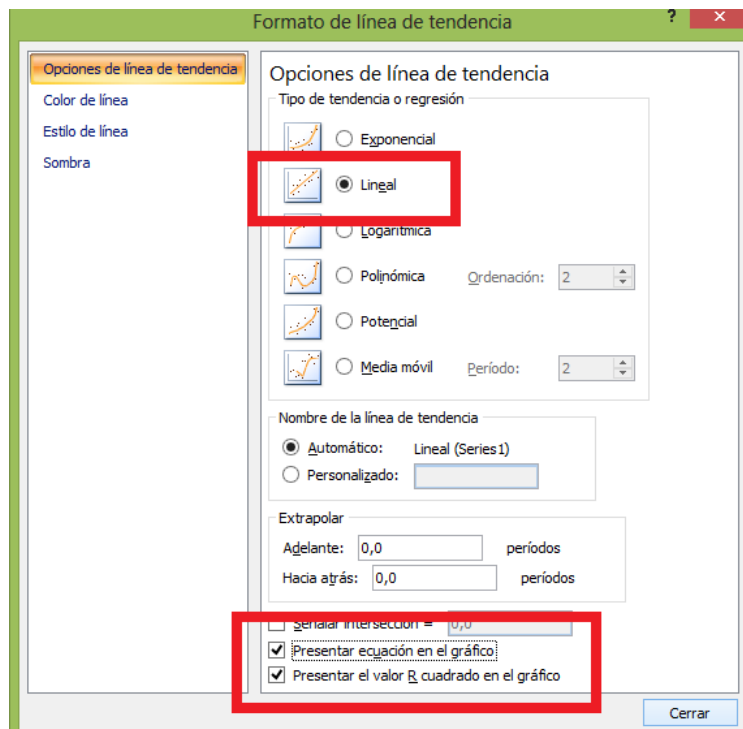
A.7. Ajuste lineal con Excel

1. Se rellenan 2 columnas con el conjunto de los pares de datos x , y .
2. Se inserta una Gráfica tipo Dispersión.
3. Con la gráfica seleccionada vamos a las herramientas de Presentación, en Línea de tendencia se selecciona Más opciones de línea de tendencia.

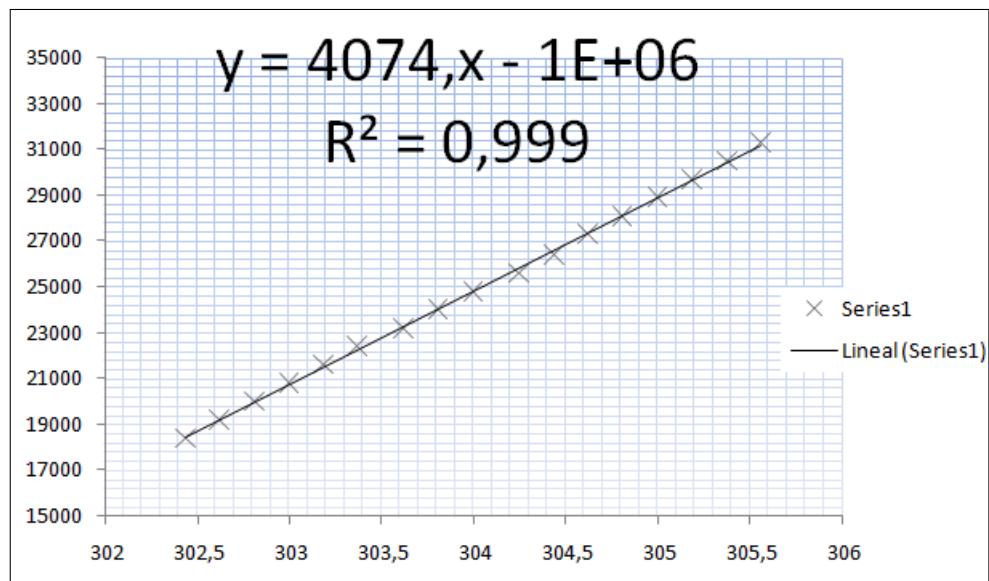


4. Se abre una ventana en la que se selecciona Tipo Lineal, Presentar ecuación del gráfico y Presentar el valor de R cuadrado.

Para extender la línea fuera de la nube de puntos hay que rellenar el apartado de Extrapolar como se desee en cada caso.



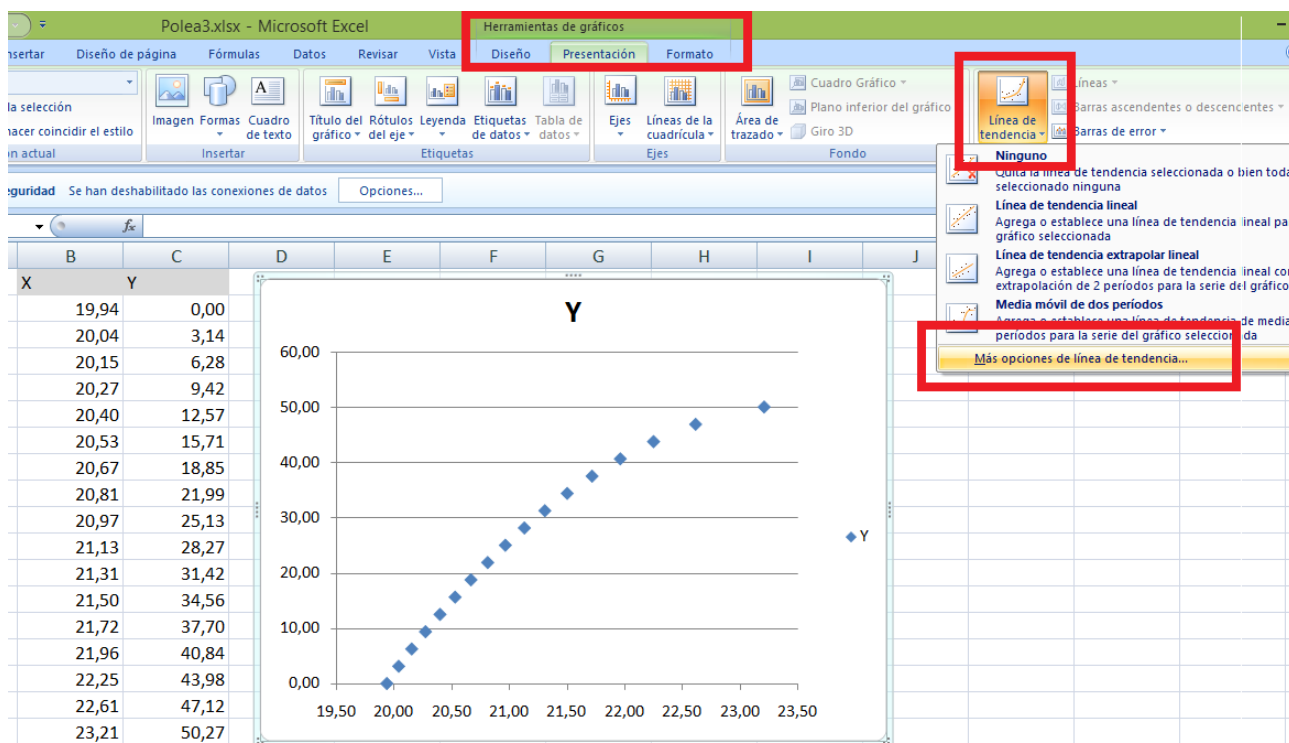
5. Se cierra el cuadro y ya aparece la recta de regresión y su ecuación.



A.8. Otros ajustes con Excel

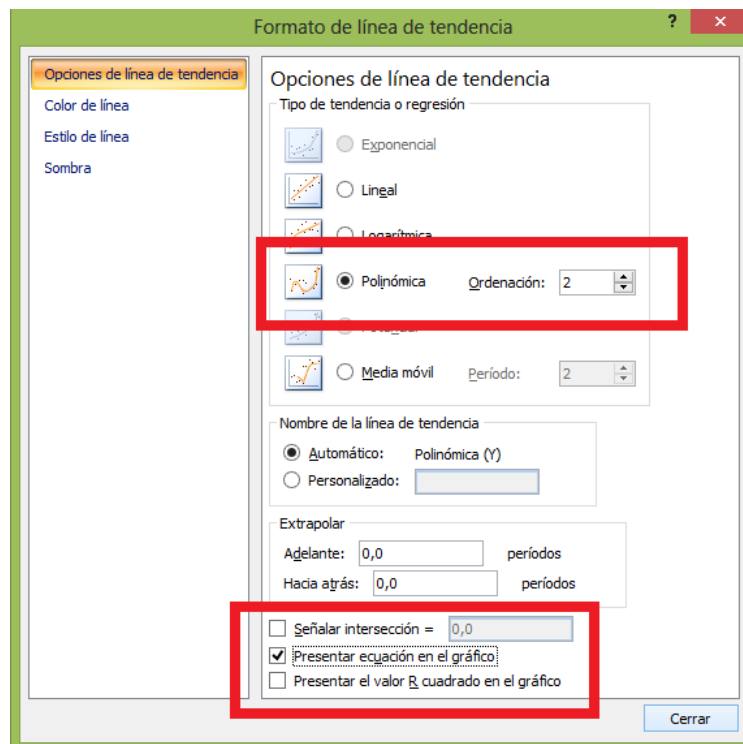
1. Se rellenan 2 columnas con el conjunto de datos x , y
2. Se Inserta una representación de tipo Dispersión (diagrama de dispersión).

- Con la gráfica seleccionada vamos a las herramientas de Presentación, en de Línea de tendencia se selecciona Más opciones de línea de tendencia.

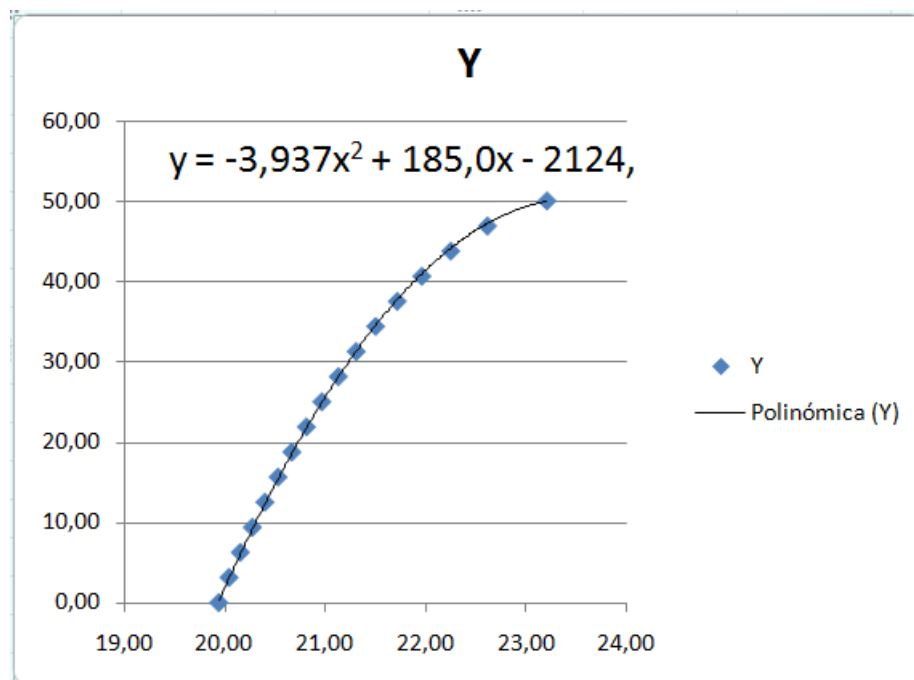


- Se abre la ventana donde se configura el tipo de línea de tendencia: exponencial, logarítmica, tipo Lineal, polinómica de cualquier grado, potencial...

En este ejemplo seleccionamos Polinómica de grado dos. Se activa Presentar la ecuación. El apartado de extrapolación se pone como se desee.



5. Se cierra el cuadro y ya está la curva ajustada a los datos y su ecuación.



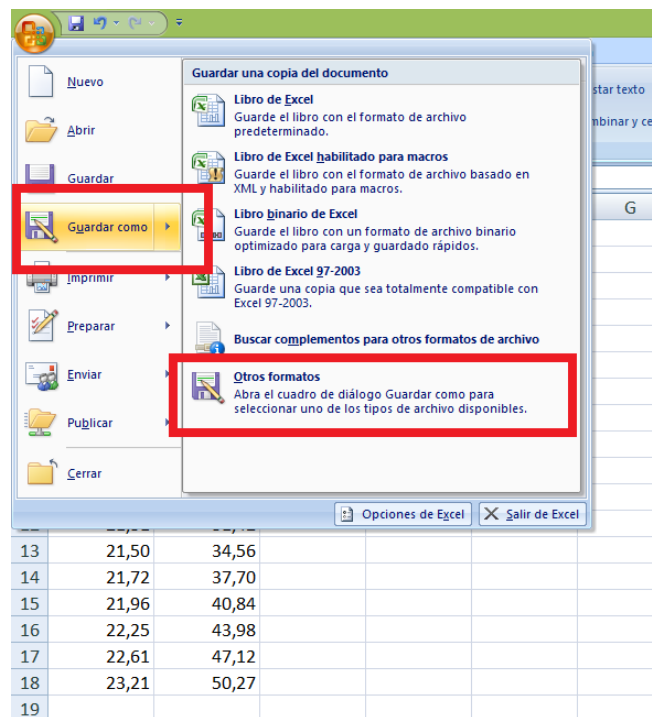
A.9. Importar y exportar datos. Archivos CSV

Para exportar e importar tablas o bases de datos en cualquier programa, generalmente se emplea el estándar CSV.

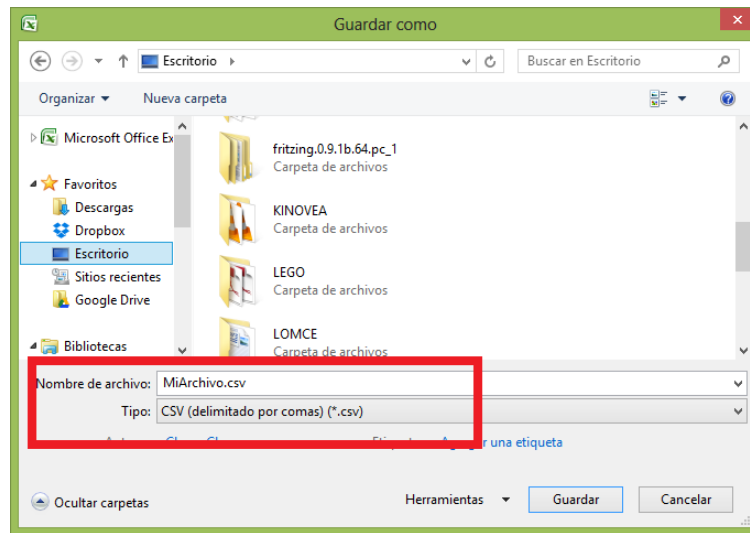
Los archivos con extensión *.csv* guardan la información como texto. Los campos de cada fila se separan por un símbolo que suele ser coma , o punto y coma ; en España solemos utilizar ; porque la coma la utilizamos en los números. El paso de una fila a otra se hace cada *Salto de línea*.

A.9.1. Exportar a CSV

1. Se pulsa sobre 'Guardar como' o 'Guardar como Otros formatos'.



2. Se guarda como tipo CSV (separado por comas).

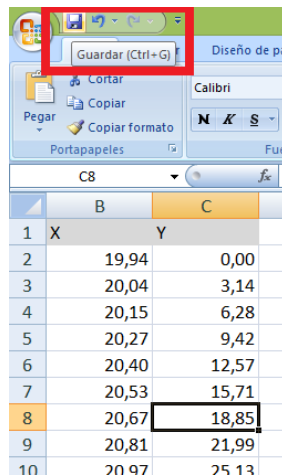


El archivo resultante se puede abrir con (botón derecho del ratón y abrir con) los programas 'Bloc de notas' o 'Notepad ++' (no es recomendable utilizar Word).

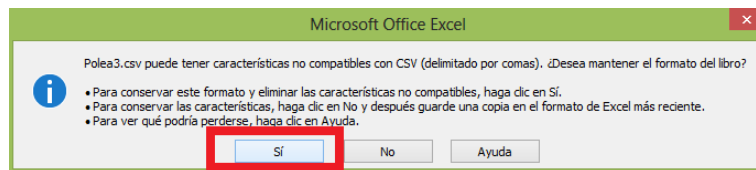
```
x, y
19.94, 0.00
20.04, 3.14
20.15, 6.28
20.27, 9.42
20.40, 12.57
20.53, 15.71
20.67, 18.85
20.81, 21.99
20.97, 25.13
21.13, 28.27
21.31, 31.42
21.50, 34.56
21.72, 37.70
21.96, 40.84
22.25, 43.98
22.61, 47.12
23.21, 50.27
```

3. El resultado es un CSV separado por comas y de forma automática, cambia las comas decimales por puntos decimales.

Para formatear el CSV con la configuración de España: separador ; y coma decimal , para los números, hay que guardar de nuevo en Excel. Solo hace falta pulsar Guardar (porque utiliza los parámetros del ordenador).



Y aceptar.



4. El resultado es un CSV separado con el formato deseado: ; para delimitar campos y , coma decimal.

```

X:Y
19,94;0,00
20,04;3,14
20,15;6,28
20,27;9,42
20,40;12,57
20,53;15,71
20,67;18,85
20,81;21,99
20,97;25,13
21,13;28,27
21,31;31,42
21,50;34,56
21,72;37,70
21,96;40,84
22,25;43,98
22,61;47,12
23,21;50,27

```

A.9.2. Abrir archivos CSV con Excel

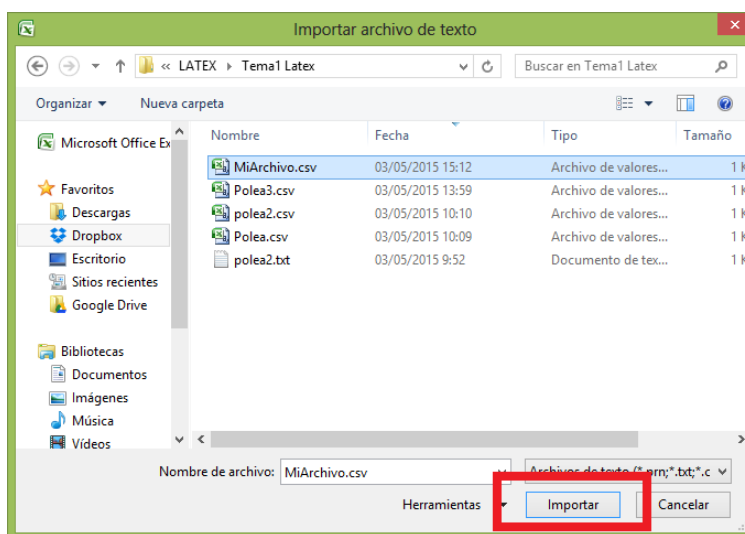
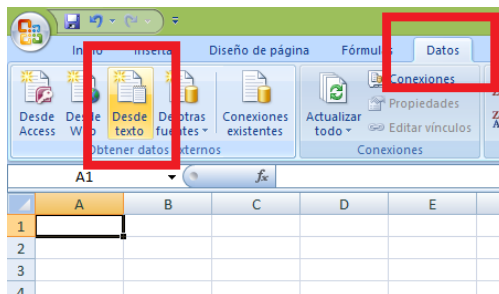
Simplemente hay que abrir el archivo normalmente. Para que salgan los datos correctamente, el archivo CSV debe tener los símbolos que utiliza el sistema, en España ; para delimitar campos y , coma decimal.

Si se quiere guardar como archivo Excel '.xlsx', hay que dar a Guardar como, Libro Excel.

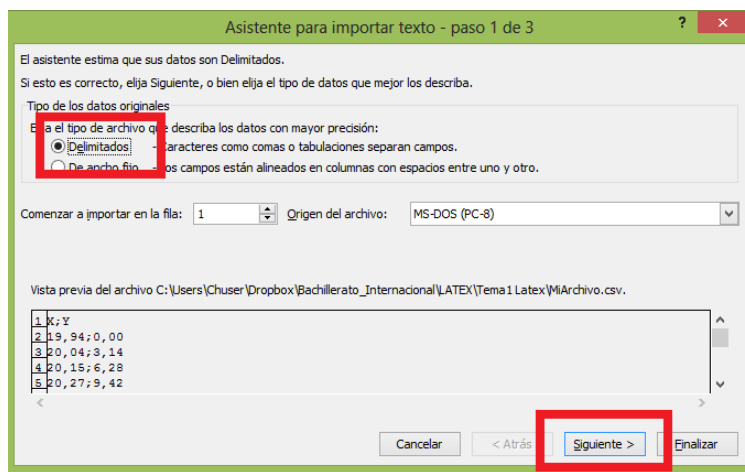
A.9.3. Importar datos CSV a un Libro Excel que ya existe

1. Se abre la hoja Excel donde se quiera importar los datos del archivo CSV.

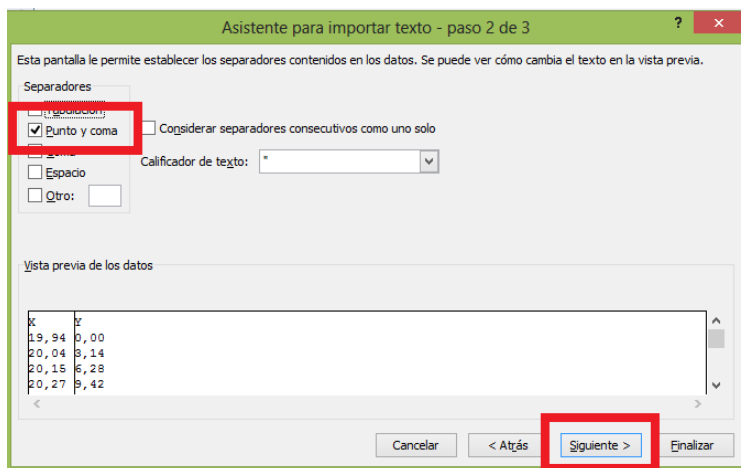
En el menú de herramientas Datos, se selecciona Desde texto. Y se selecciona el archivo CSV.



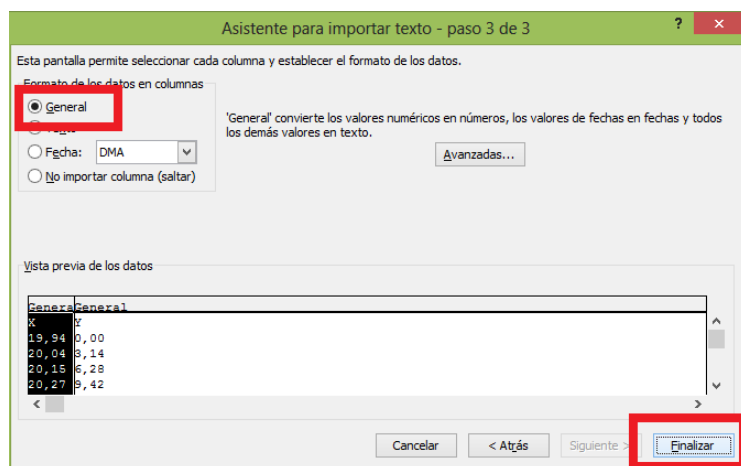
2. Se escoge Tipo de datos originales: Delimitados.



3. Se selecciona el símbolo del Separador.



4. Formato de datos general.



5. El resultado es.

	A	B	C
1	X	Y	
2	19,94	0	
3	20,04	3,14	
4	20,15	6,28	
5	20,27	9,42	
6	20,4	12,57	
7	20,53	15,71	
8	20,67	18,85	
9	20,81	21,99	
10	20,97	25,13	
11	21,13	28,27	
12	21,31	31,42	
13	21,5	34,56	
14	21,72	37,7	
15	21,96	40,84	
16	22,25	43,98	
17	22,61	47,12	
18	23,21	50,27	
19			

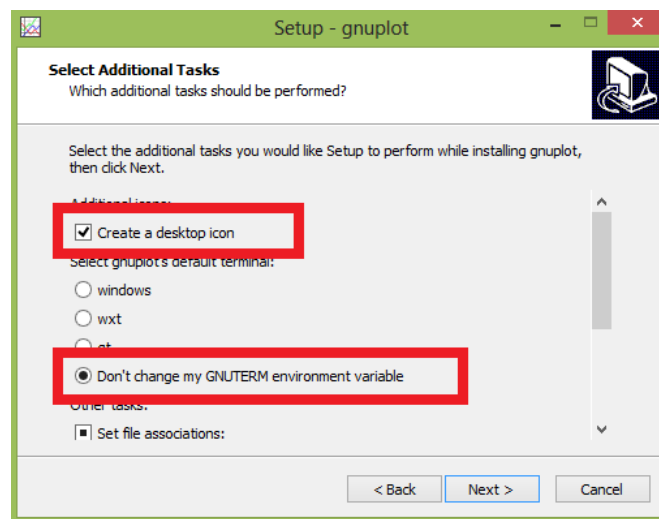
Apéndice B

Gráficas con GNU PLOT

La documentación, tutoriales y ejemplos del proyecto gnuplot está en <http://www.gnuplot.info>.

B.1. Descargar e instalar gnuplot

1. Se descarga la última versión estable desde <http://www.gnuplot.info> o directamente desde <http://sourceforge.net>
2. Se instala creando icono en el escritorio y dejando GNUTERM sin cambiar (utiliza wxt por defecto).

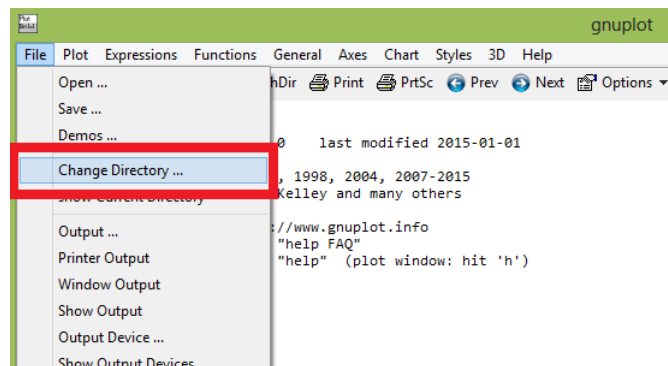


B.2. Diagrama de dispersión

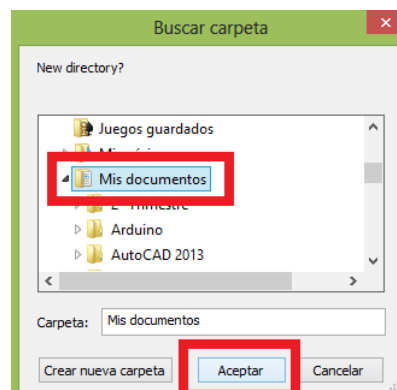
1. Se crea un archivo de texto con los datos en columnas, las columnas pueden estar separadas por espacios o por tabulador. Y se guarda.
Si se quieren poner títulos `X Y` se debe poner `#` al principio de la fila, para que no sea leída por el programa.
Los datos se ponen con punto decimal. En caso de utilizar coma decimal habría que ejecutar el comando `set decimalsign ','` en gnuplot. En España también sirve `set decimalsign locale`.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
#X	Y	IncX	IncY	
1	8	0.05	0.1	
2	11	0.02	0.08	
3	13.5	0.06	0.09	
4.5	15	0.04	0.12	
5.7	18	0.06	0.2	
8	21	0.05	0.12	
9	25	0.02	0.09	
9.5	26	0.7	0.08	

2. Se abre el programa gnuplot y se indica la ruta (carpeta) donde se encuentra el archivo de datos.



Por ejemplo, si estuviese en mis documentos:



B.3. Diagrama de dispersión con barras de error con gnuplot

3. Para representar el diagrama de dispersión de los datos del archivo de entrada *MiArchivo.txt*, se emplea el comando `plot 'MiArchivo.txt' using 1:2`. Así utiliza la columna 1 en abscisas y la 2 en ordenadas.

```
File Plot Expressions Functions General Axes Chart Styles 3D Help
Replot Open Save ChDir Print PRTSc Prev Next

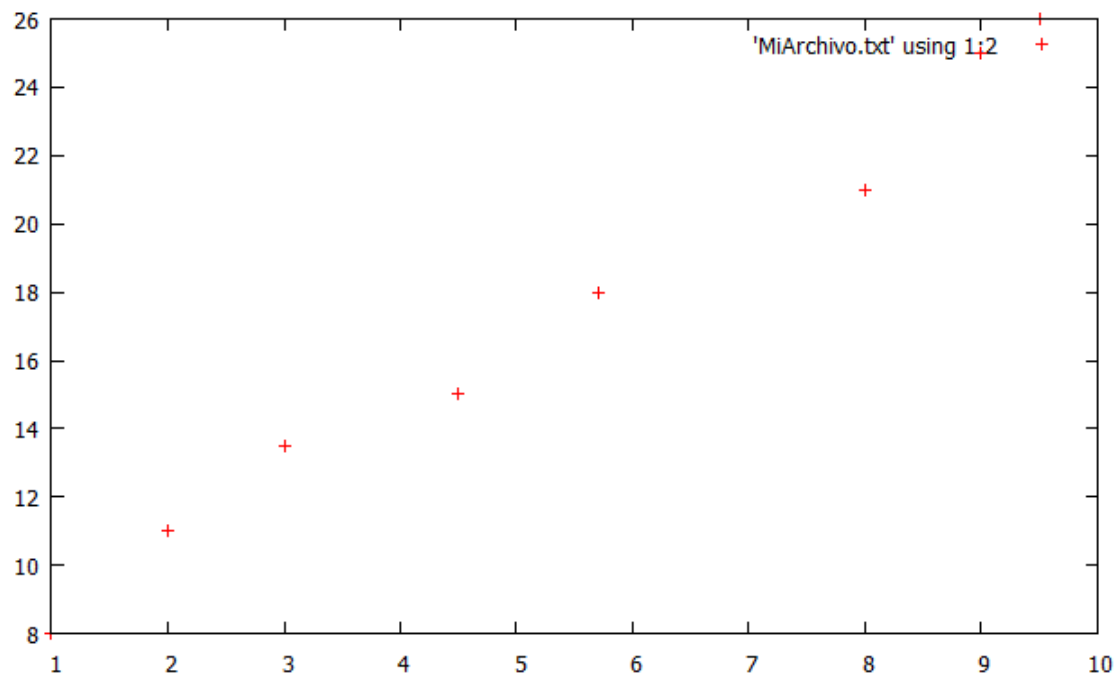
G N U P L O T
Version 4.6 patchlevel 6 last modified September 2014
Build System: MS-Windows 32 bit

Copyright (C) 1986-1993, 1998, 2004, 2007-2014
Thomas Williams, Colin Kelley and many others

gnuplot home: http://www.gnuplot.info
faq, bugs, etc: type "help FAQ"
immediate help: type "help" (plot window: hit 'h')

Terminal type set to 'wxt'
gnuplot> cd c:\users\tenuser\documents
gnuplot> plot 'MiArchivo.txt' using 1:2
```

Y se genera el gráfico.

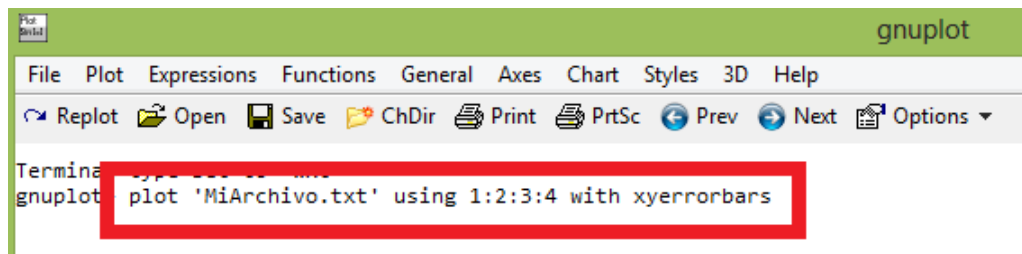


B.4. Barras de error con gnuplot

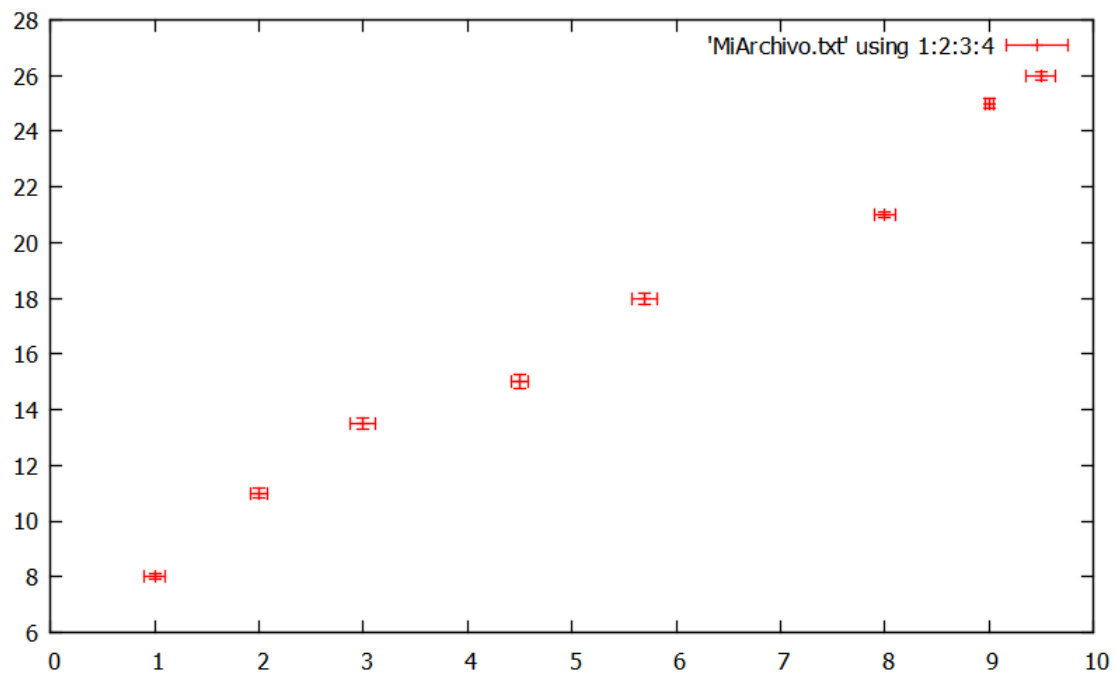
1. El archivo de datos contiene 4 columnas en el siguiente orden: X Y ΔX ΔY .

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
#X	Y	IncX	IncY	
1	8	0.1	0.1	
2	11	0.08	0.16	
3	13.5	0.12	0.18	
4.5	15	0.08	0.24	
5.7	18	0.12	0.2	
8	21	0.1	0.12	
9	25	0.04	0.18	
9.5	26	0.14	0.16	

- Para representar el diagrama de dispersión con las barras de error se utiliza el comando `plot "MiArchivo.txt" using 1:2:3:4 with xerrorbars`

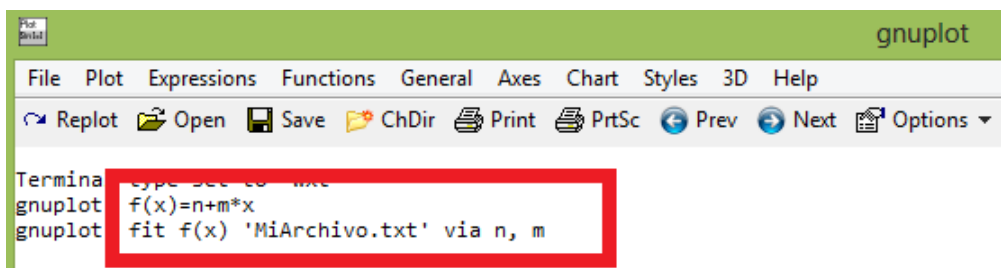


Y el resultado es:



B.5. Ajuste lineal con gnuplot

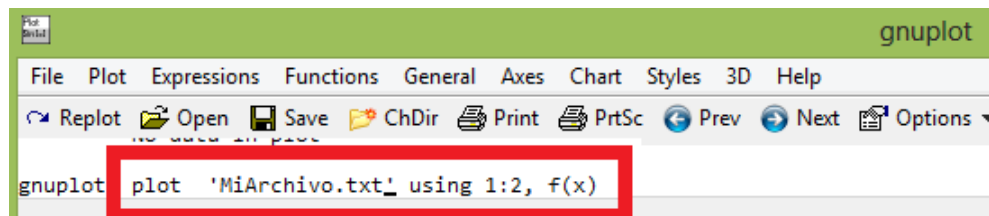
1. Primero se define la función para el ajuste $y = n + m \cdot x$ con el comando `f(x)=n+m*x`. Donde n y m son los parámetros a optimizar.
2. Se ajusta la función $f(x)$ a los datos del archivo *MiArchivo.txt* con el comando `fit f(x) 'MiArchivo.txt' via n, m`



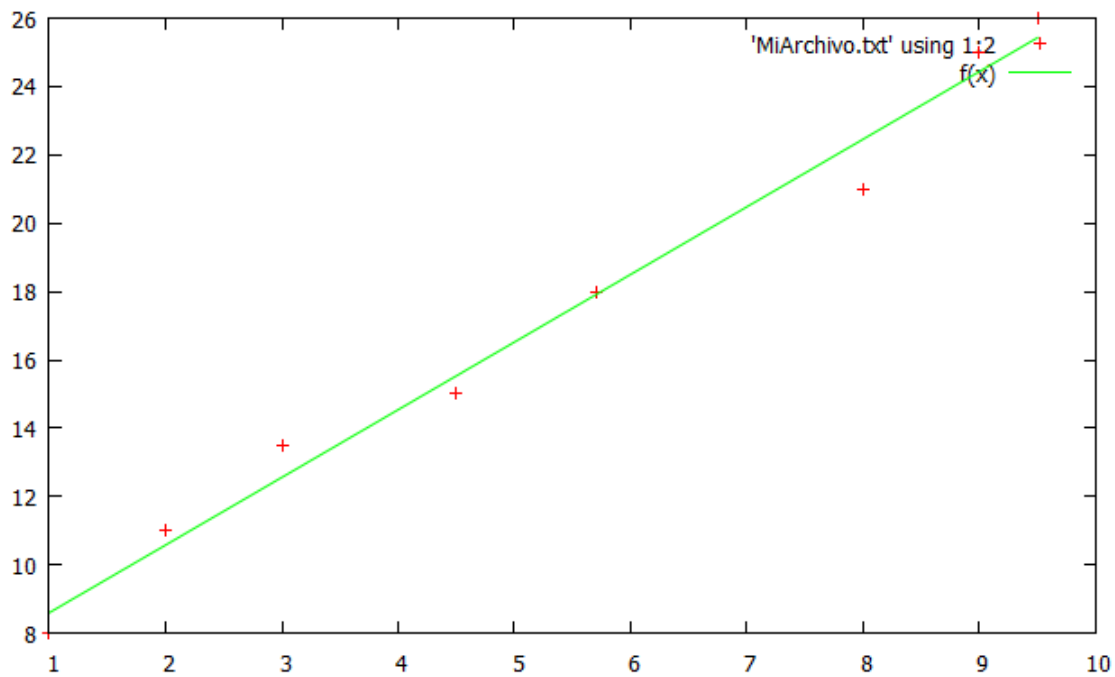
A continuación aparece el resultado del ajuste, el valor de los parámetros y su errores (sin r).

Final set of parameters		Asymptotic Standard Error	
=====		=====	
n	= 6.61797	+/- 0.6168	(9.32%)
m	= 1.98024	+/- 0.1004	(5.07%)

3. Por último se representan los datos y la recta de regresión. Con el comando `plot 'MiArchivo.txt' using 1:2, f(x)`



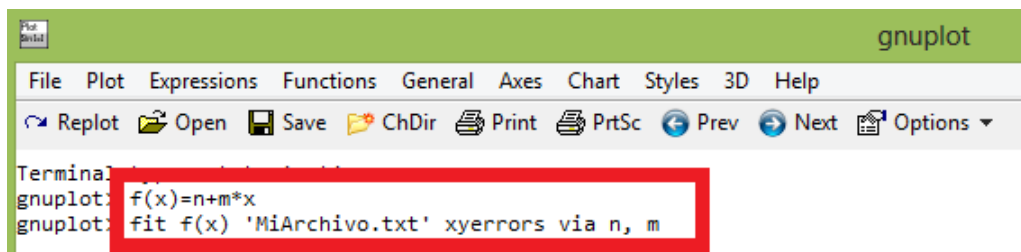
Y se obtiene:



B.6. Ajuste lineal con barras de error con gnuplot

Necesita gnuplot 5 o superior.

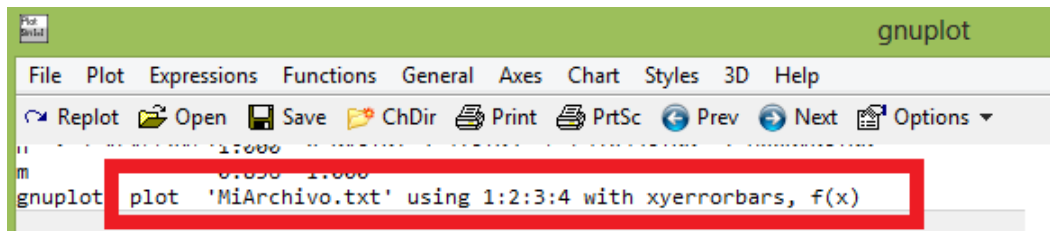
1. Primero se define la función para el ajuste $y = n + m \cdot x$ con el comando `f(x)=n+m*x`. Donde n y m son los parámetros a optimizar.
2. Se ajusta la función $f(x)$ a los datos del archivo `MiArchivo.txt` con el comando `fit f(x) 'MiArchivo.txt' xyerrors via n, m`



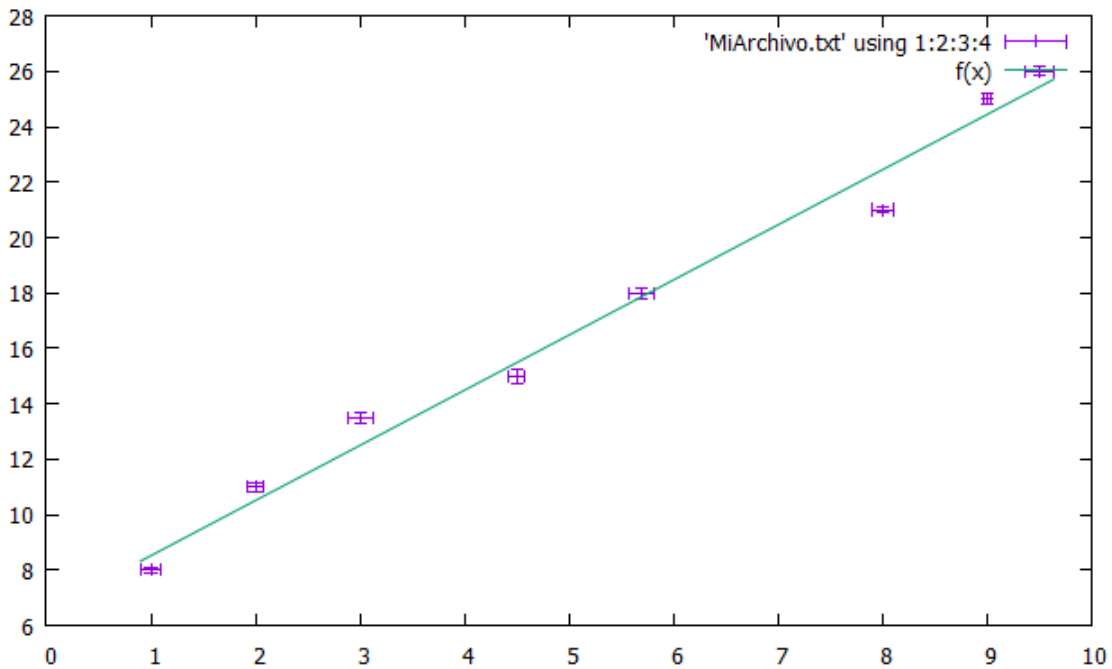
A continuación a parece el resultado del ajuste, el valor de los parámetros y su errores (sin r).

Final set of parameters		Asymptotic Standard Error	
=====		=====	
n	= 6.53192	+/- 0.6046	(9.255%)
m	= 1.98965	+/- 0.09718	(4.884%)

3. Por último se representan los datos y la recta de regresión. Comando `plot 'MiArchivo.txt' using 1:2:3:4 with xyerrorbars, f(x)`



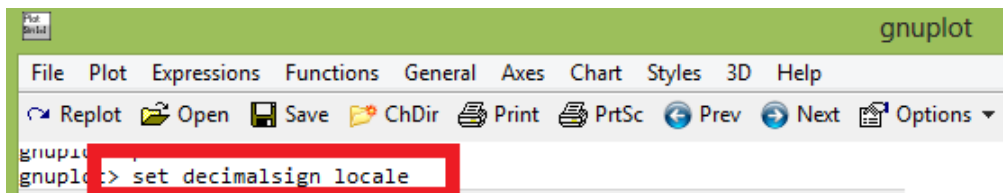
Y se obtiene:



B.7. Otros ajustes con gnuplot

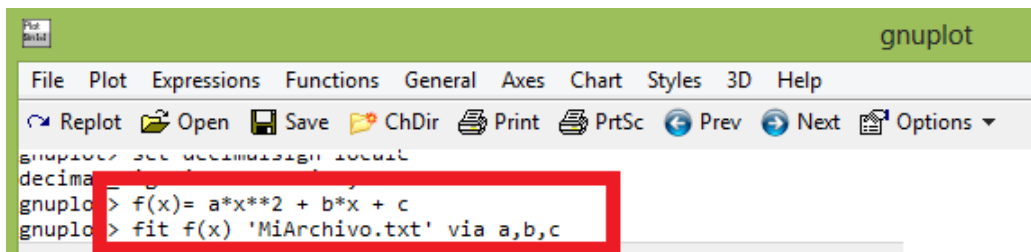
1. En este ejemplo los datos del archivo de entrada *MiArchivo.txt* utilizan coma decimal, por lo que tenemos que emplear el comando `set decimalsign locale`.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
#X				
19,939556		0		
20,04234		3,141592654		
20,154792		6,283185307		
20,2744		9,424777961		
20,399908		12,56637061		
20,530728		15,70796327		
20,667956		18,84955592		
20,812416		21,99114858		
20,965724		25,13274123		
21,13016		28,27433388		
21,307436		31,41592654		
21,501152		34,55751919		
21,716176		37,69911184		
21,96062		40,8407045		
22,2482		43,98229715		
22,61276		47,1238898		
23,205424		50,26548246		



- Primero se define la función para el ajuste, la que se desee. En este caso $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$, con el comando `f(x)= a*x**2 + b*x + c`. Donde a , b y c son los parámetros a optimizar.

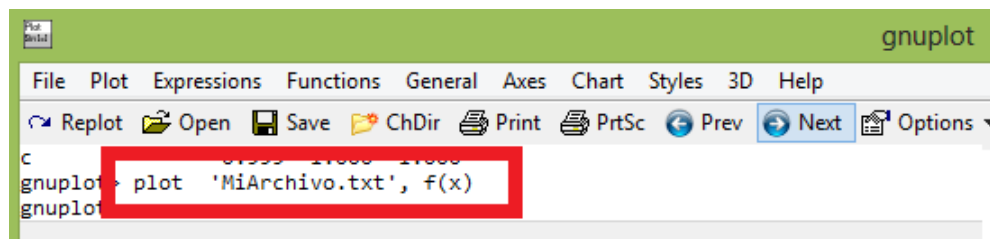
Después se ajusta los datos del archivo `MiArchivo.txt` con el comando `fit f(x) 'MiArchivo.txt' via a,b,c`



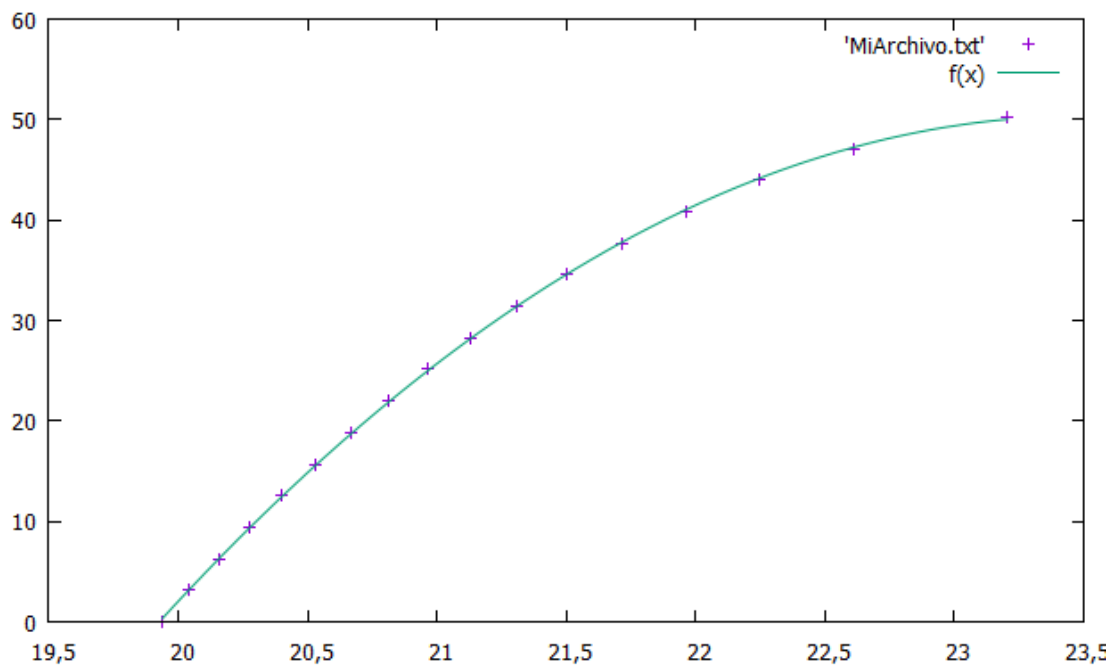
A continuación a parece el resultado del ajuste, el valor de los parámetros y su errores.

Final set of parameters		Asymptotic Standard Error	
=====		=====	
a	= -3.93753	+/- 0.04574	(1.162%)
b	= 185.089	+/- 1.962	(1.06%)
c	= -2124.71	+/- 21	(0.9884%)

- Por último se representan los datos y la línea del ajuste. Comando `plot 'MiArchivo.txt', f(x)`



Y se obtiene:



B.8. Input de archivos CSV en gnuplot

El archivo csv en realidad es un archivo de texto donde las columnas se separan con un símbolo. En este caso el separador es la coma ',' y se por tanto se emplea punto decimal.

Si se abre con 'Bloc de notas' o con 'Notepad++' se ve lo siguiente:

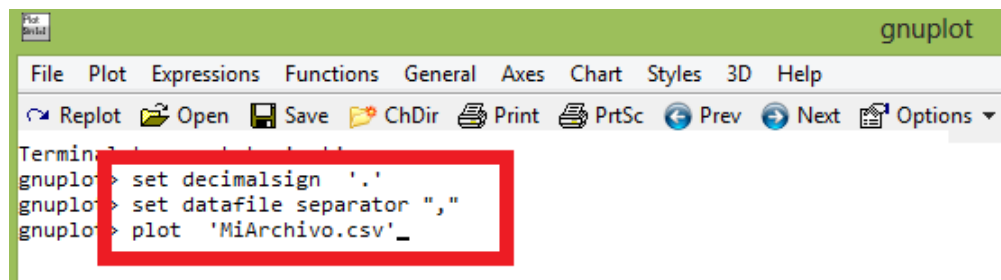
```
x,y
19.94,0.00
20.04,3.14
20.15,6.28
20.27,9.42
20.40,12.57
20.53,15.71
20.67,18.85
20.81,21.99
20.97,25.13
21.13,28.27
21.31,31.42
21.50,34.56
21.72,37.70
21.96,40.84
22.25,43.98
22.61,47.12
23.21,50.27
```

1. En gnuplot:

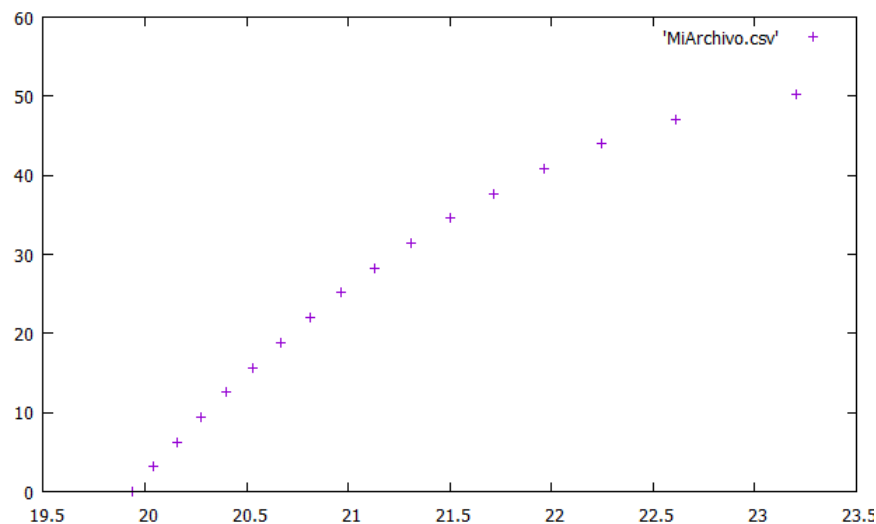
Se establece el punto '.' como separador decimal. `set decimalsign '.'`

Se establece la coma ',' como separador de datos. `set datafile separator ","`

Se representan los datos del archivo csv *MiArchivo.csv* con el comando `plot 'MiArchivo.csv'`



Y se obtiene:



2. Si se utiliza el formato CSV que se emplea en España, separador ; y coma decimal , para números.

```
X;Y
19,94;0,00
20,04;3,14
20,15;6,28
20,27;9,42
20,40;12,57
20,53;15,71
20,67;18,85
20,81;21,99
20,97;25,13
21,13;28,27
21,31;31,42
21,50;34,56
21,72;37,70
21,96;40,84
22,25;43,98
22,61;47,12
23,21;50,27
```

En gnuplot:

Se establece la coma ',' como separador decimal. `set decimalsign ','`

Se establece el punto y coma ';' como separador de datos. `set datafile separator ";"`

Se representan los datos del archivo csv *MiArchivo.csv* `plot 'MiArchivo.csv'`

B.9. Otros comandos gnuplot

```
set xlabel 'Etiqueta del eje X'
```

```
set ylabel 'Etiqueta del eje Y'
```

```
set key below
```

```
set title 'Título de la gráfica'
```

```
set xrange [-100:100]
```

```
unset xrange
```

```
set yrange [-50:50]
```

```
unset yrange
```

```
set xrange [-3*pi:3*pi]
```

```
set ytics 0, 10
```

```
set xtics -pi, pi/4
```

```
set xtics add (7.5)
```

```
set mxtics 5
```

```
plot sin(x)
```

```
plot sin(x) lt 6
```

```
plot (x/exp(2*x*x)) + (x/(2*exp(8*x*x))) lt 2
```

```
plot log(x+1),x
```

```
f(x)=x**2
```

```
plot f(x) lt 2 title 'Nombre de la línea'
```

```
plot x**2 title 'parábola'
```

```
set decimalsign locale
```

```
set datafile separator ","
```

```
plot 'MiArchivo.csv' using 1:2
```

```
plot 'MiArchivo.csv' using 1:2:3:4 with xyerrorbars
```

```
l(x)=y0+m*x
```

```
fit l(x) 'MiArchivo.csv' via y0, m
```

```
plot 'MiArchivo.csv' using 1:2:3:4 with xyerrorbars, l(x)
```

```
fit l(x) 'MiArchivo.csv' xyerrors via y0, m
```

```
set label 'Texto Etiqueta' at 1,2
```

```
set label sprintf('f(x) = %3.4f + %3.4f *x',m,y0) at 40,50
```

```
unset label
```

```
set multiplot
```

```
unset multiplot
```

Apéndice C

Ajuste con Solver

C.1. Habilitar Solver en Excel

Según las indicaciones de la pagina de Soporte de Office:

1. En Excel, haga clic en el botón de Microsoft Office y, a continuación, haga clic en Opciones de Excel.
2. Haga clic en Complementos y, en el cuadro Administrar, seleccione Complementos de Excel.
3. En el cuadro Complementos disponibles, active la casilla de verificación Complemento Solver y, a continuación, haga clic en Aceptar.
4. Haga clic en Ir.

Sugerencia: Si el complemento Solver no aparece en la lista del cuadro Complementos disponibles, haga clic en Examinar para buscar el complemento.

Si se le indica que el complemento Solver no está instalado actualmente en el equipo, haga clic en Sí para instalarlo.

5. Una vez cargado el complemento Solver, el comando Solver estará disponible en el grupo Análisis de la ficha Datos.

C.2. Presentación de datos para el ajuste

Solver permite minimizar el valor de una celda de la hoja de cálculo, haciendo variar unos parámetros establecidos en otras celdas. Vamos a realizar un ajuste por mínimos cuadrados, por lo tanto variamos los parámetros de la ecuación de la función $f(x)$ que pretendemos ajustar a los datos (x, y) . Y el valor a minimizar, es la suma de las desviaciones al cuadrado $\sum d_i^2 = \sum (y_i - f(x_i))^2$.

Preparación de datos

1. Se preparan 4 columnas con las cabeceras: x_i | y_i | $f(x_i)$ | $(y_i - f(x_i))^2$ (no hace falta que tengan esos nombres exactamente).
2. Se escribe la expresión general de la función que se va ajusta, a modo informativo, sin dar valor a los parámetros que aparezcan $a, b, c, d, \dots$.

3. Se hace un cuadro con los parámetros de la función: En una columna se escriben los parámetros $a, b, c, d, \dots$ y en la otra sus respectivos valores iniciales.

Es obligatorio empezar dando valores iniciales y conviene que sean lo más próximos a sus valores óptimos.

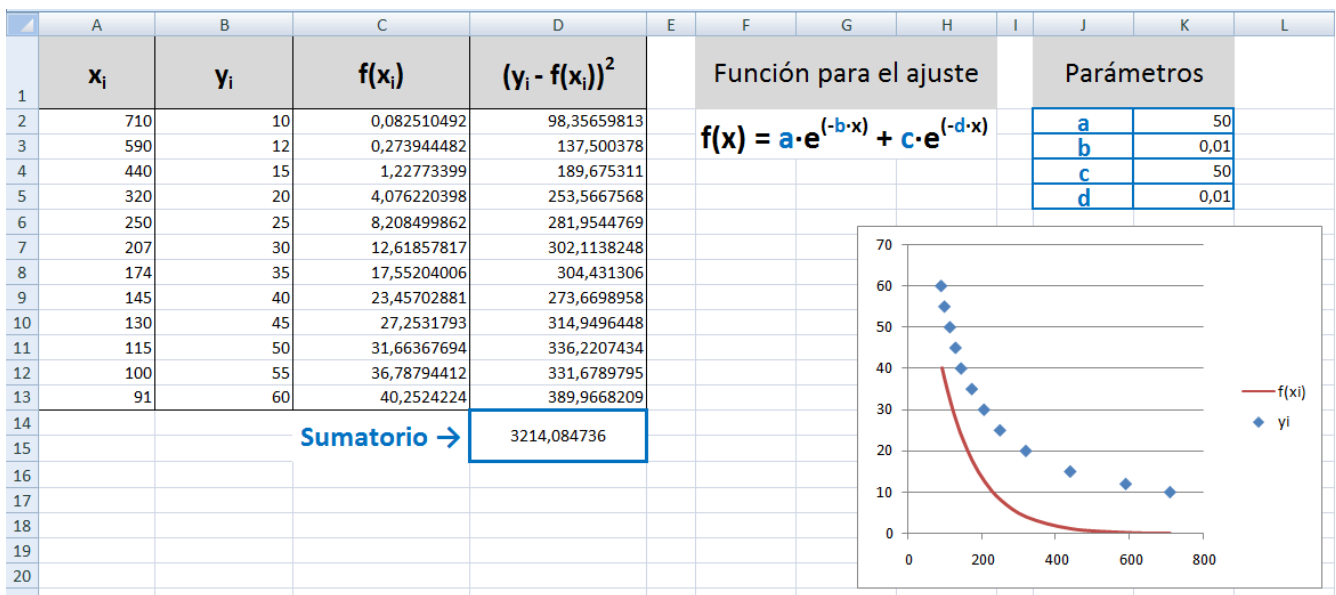
4. En las columnas x_i y_i ponemos los datos.
5. En la columna $f(x_i)$ se pone el valor de la función sustituida con las celdas de los parámetros y la celda de la x de su respectiva fila.
6. En la columna $(y_i - f(x_i))^2$ se le resta a y_i el valor de $f(x_i)$ de su respectiva fila y lo elevamos al cuadrado. Son las desviaciones al cuadrado.
7. finalmente, se define una casilla que sea el sumatorio de toda la columna $f(x_i)$, que será la celda a minimizar.

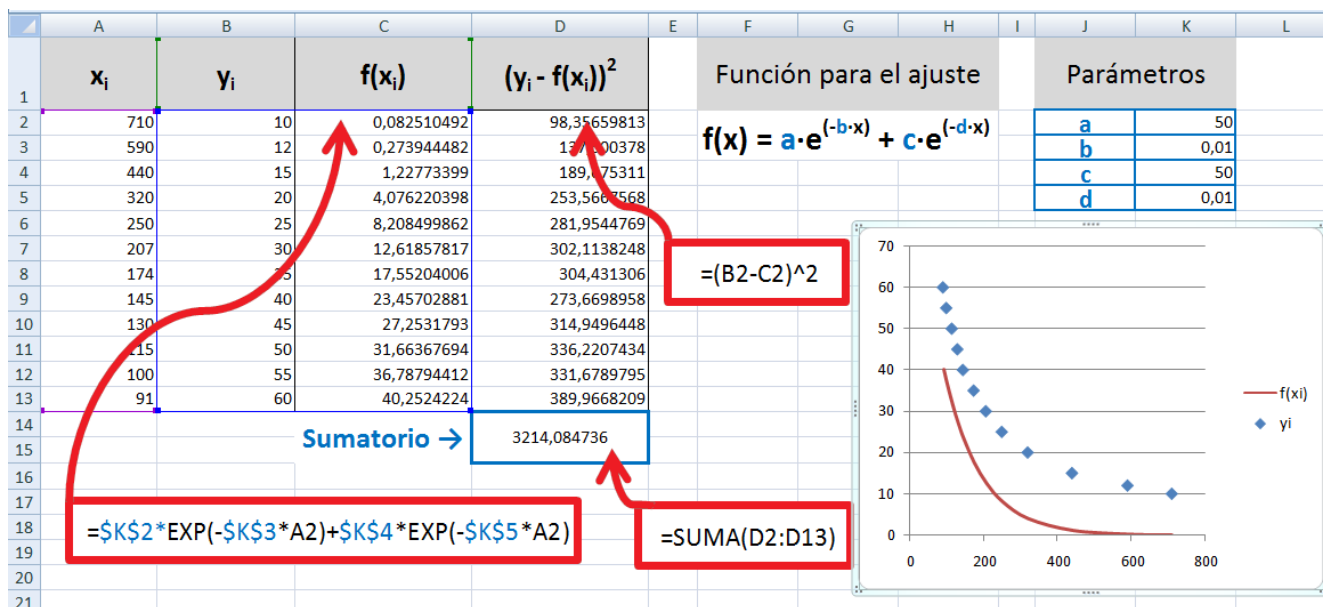
C.3. Diagrama y gráfica para el ajuste

1. Se inserta una Gráfica tipo Dispersión y representamos dos series.
2. La primera serie tiene X= columna x_i , Y= columna y_i . Se le da el nombre 'Datos' (por ejemplo) y la representamos con puntos.
3. La segunda serie tiene X= columna x_i , Y= columna $f(x_i)$, se le da el nombre 'Ajuste' (por ejemplo) y la representamos con una línea.
4. Si alguna de las series no aparece con el formato deseado (línea o puntos), se pulsa con el *botón derecho del ratón* sobre alguna parte de la gráfica y se selecciona Cambiar Tipo de Gráfica.

También se puede cambiar el formato de la representación, seleccionando la línea o un punto de la gráfica con el *botón derecho del ratón* y en el menú emergente 'Dar formato a serie de datos'.

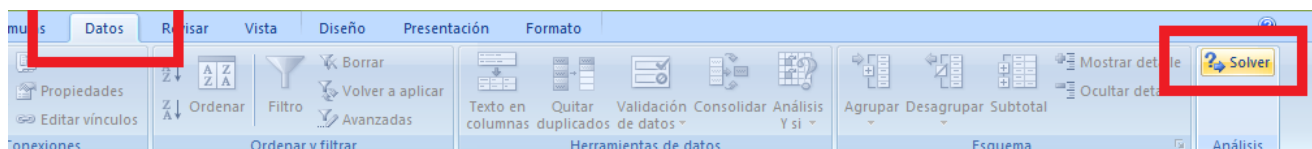
Si se quiere quitar, añadir o cambiar alguna serie. Se pincha sobre la gráfica y en la barra de herramientas superior, dentro de 'Diseño' se pulsa 'Seleccionar Datos'.





C.4. Ajuste con Solver

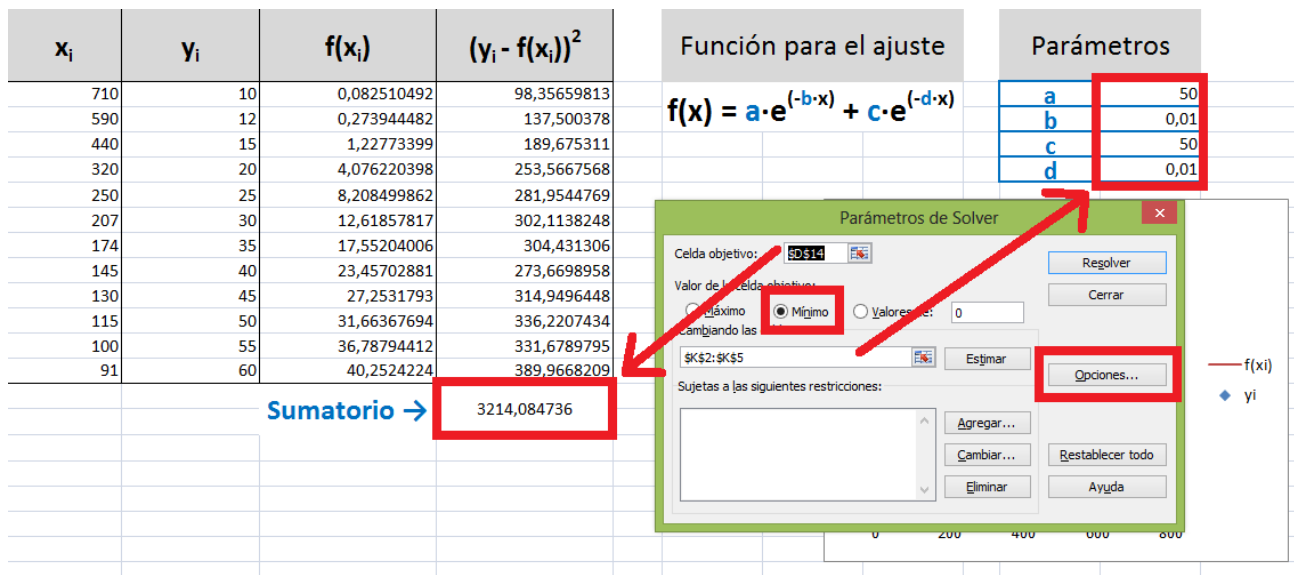
1. En la barra de herramientas Datos, se selecciona Solver. Y se abre una ventana que nos permite configurar Solver con la siguiente información.



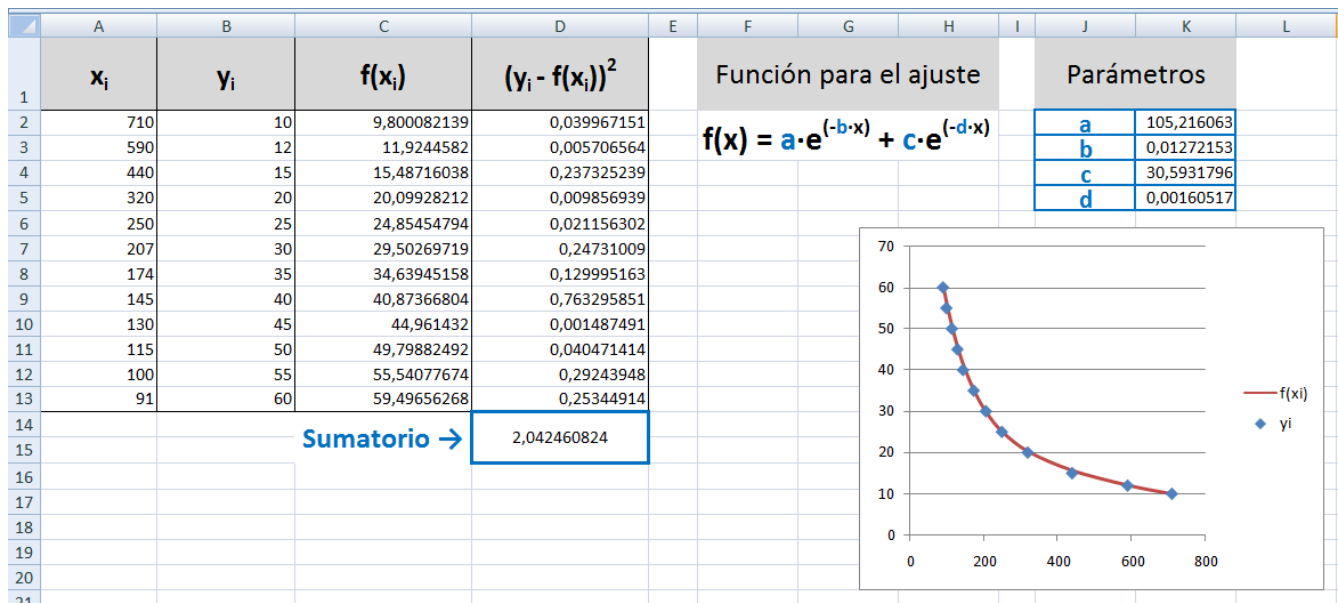
2. En la nueva ventana se configura:

- Celda objetivo: La celda del sumatorio de cuadrados.
- Valor de la celda objetivo: Mínimo.
- Combinando celdas: Se seleccionan las celdas de los valores de los parámetros.
- En opciones:
 - 1) Tiempo: 100
 - 2) Iteraciones: 1000
 - 3) Precisión: 0,000001
 - 4) Tolerancia: 5
 - 5) Convergencia: 0,00001
 - 6) El resto, por defecto.

Esta configuración pueden cambiar según sea el caso.
Para salir de Opciones, se pulsa Aceptar.



3. En la ventana principal de Solver, se pulsa Resolver. Y se obtiene el resultado del ajuste.



4. finalmente, se evalúa si el resultado es aceptable, si no lo es, se puede variar los valores iniciales de los parámetros. También puede ser que la configuración no sea la adecuada.

Apéndice D

Incertidumbre expandida con la *distribución t de Student*

Si z es una variable aleatoria normalmente distribuida, con esperanza matemática μ_z y desviación típica σ , y $\bar{z}$ es la media aritmética de n observaciones independientes $z_1, z_2, \dots, z_n$ de z . Sea $s(\bar{z})$ la desviación típica experimental de la media $\bar{z}$, entonces la distribución de la variable $t = (\bar{z} - \mu_z)/s(\bar{z})$ es la distribución t o *distribución de Student* con $\nu = n - 1$ grados de libertad.

Desviación típica experimental (muestral) de n observaciones $s(z) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{z})^2}{n - 1}}$

Desviación típica experimental de la media o desviación de la media muestral $s(\bar{z}) = \frac{s(z)}{\sqrt{n}}$

Aplicación en la medición: Considerando el mensurando x una magnitud normalmente distribuida y se estima mediante la media aritmética $\bar{x}$ de n observaciones repetidas independientes $x_1, x_2, \dots, x_n$ con desviación típica experimental de la media $s(\bar{x})$. Entonces la distribución de la variable $t = (\bar{x} - \mu_x)/s(\bar{x})$ es la *distribución de Student* con $\nu = n - 1$ grados de libertad.

La *mejor estimación* de x es $\bar{x}$ y la *desviación típica experimental de la media*, es la estimación es la *incertidumbre típica* $u = s(\bar{x})$.

En consecuencia:

$$Pr[-t_p(\nu) \leq t \leq t_p(\nu)] = p$$

$$Pr[-t_p(\nu) \leq (\bar{x} - x)/s(\bar{x}) \leq t_p(\nu)] = p$$

$$Pr[\bar{x} - t_p(\nu)s(\bar{x}) \leq x \leq \bar{x} + t_p(\nu)s(\bar{x})] = p$$

$$Pr[\bar{x} - t_p(n-1)u(x) \leq x \leq \bar{x} + t_p(n-1)u(x)] = p$$

$$Pr[\bar{x} - U_p \leq x \leq \bar{x} + U_p] = p$$

Así, la incertidumbre expandida $U_p = k \cdot u = t_p(n-1)u$

define un intervalo desde $\bar{x} - U_p$ a $\bar{x} + U_p$, también escrito $x = \bar{x} \pm U_p$, que es de esperar contenga una fracción p de la distribución de valores que podrían ser razonablemente atribuidos a x , siendo p la probabilidad o nivel de confianza del intervalo. A partir de unos 30 grados de libertad la *distribución*

de Student se aproxima bastante a la normal. Por tanto, para un número de observaciones n mayor o igual a 31, puede utilizarse la distribución normal para determinar la incertidumbre de la medida. En realidad la *distribución de Student* con 10 grados de libertad ya se aproxima a la normal.

En la medición no se emplea directamente el *teorema del límite central* porque habitualmente no disponemos de muestras lo suficientemente grandes y porque no se conoce la varianza de x .

Fuente de información: *Evaluación de datos de medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida del CEM.*

D.1. Distribución t de Student

STUDENT'S t PERCENTAGE POINTS

ν	60.0 %	66.7 %	75.0 %	80.0 %	87.5 %	90.0 %	95.0 %	97.5 %	99.0 %	99.5 %	99.9 %
1	0.325	0.577	1.000	1.376	2.414	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	318.31
2	0.289	0.500	0.816	1.061	1.604	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327
3	0.277	0.476	0.765	0.978	1.423	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215
4	0.271	0.464	0.741	0.941	1.344	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173
5	0.267	0.457	0.727	0.920	1.301	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893
6	0.265	0.453	0.718	0.906	1.273	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208
7	0.263	0.449	0.711	0.896	1.254	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785
8	0.262	0.447	0.706	0.889	1.240	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501
9	0.261	0.445	0.703	0.883	1.230	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297
10	0.260	0.444	0.700	0.879	1.221	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144
11	0.260	0.443	0.697	0.876	1.214	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025
12	0.259	0.442	0.695	0.873	1.209	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930
13	0.259	0.441	0.694	0.870	1.204	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852
14	0.258	0.440	0.692	0.868	1.200	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787
15	0.258	0.439	0.691	0.866	1.197	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733
16	0.258	0.439	0.690	0.865	1.194	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686
17	0.257	0.438	0.689	0.863	1.191	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646
18	0.257	0.438	0.688	0.862	1.189	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610
19	0.257	0.438	0.688	0.861	1.187	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579
20	0.257	0.437	0.687	0.860	1.185	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552
21	0.257	0.437	0.686	0.859	1.183	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527
22	0.256	0.437	0.686	0.858	1.182	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505
23	0.256	0.436	0.685	0.858	1.180	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485
24	0.256	0.436	0.685	0.857	1.179	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467
25	0.256	0.436	0.684	0.856	1.178	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450
26	0.256	0.436	0.684	0.856	1.177	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435
27	0.256	0.435	0.684	0.855	1.176	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421
28	0.256	0.435	0.683	0.855	1.175	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408
29	0.256	0.435	0.683	0.854	1.174	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396
30	0.256	0.435	0.683	0.854	1.173	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385
35	0.255	0.434	0.682	0.852	1.170	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.340
40	0.255	0.434	0.681	0.851	1.167	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307
45	0.255	0.434	0.680	0.850	1.165	1.301	1.679	2.014	2.412	2.690	3.281
50	0.255	0.433	0.679	0.849	1.164	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	3.261
55	0.255	0.433	0.679	0.848	1.163	1.297	1.673	2.004	2.396	2.668	3.245
60	0.254	0.433	0.679	0.848	1.162	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232
∞	0.253	0.431	0.674	0.842	1.150	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090

Fuente: Departamento de Matemáticas de University of York

D.2. Distribución Normal

NORMAL CUMULATIVE DISTRIBUTION FUNCTION

x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7703	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Fuente: Departamento de Matemáticas de University of York

Apéndice E

Regresión lineal simple

La regresión lineal simple: Es el ajuste lineal por mínimos cuadrados de un diagrama de dispersión. El diagrama de dispersión se corresponde de una distribución bidimensional (x, y) . Con la regresión lineal obtenemos la recta $y = bx + a$ que mejor se aproxima a la nube de puntos y permite evaluar el grado de dependencia lineal entre las dos variables por medio del *coeficiente de correlación* r .

Por ser ajuste lineal los residuos son $d_i = y_i - f(x_i) = y_i - (bx_i + a)$. El criterio de mínimos, en este caso, se aplica determinando los parámetros a y b que hagan mínimo el sumatorio de los residuos al cuadrado $\sum d_i^2$. Para ello se plantea $\frac{\partial \sum d_i^2}{\partial a} = 0$, $\frac{\partial \sum d_i^2}{\partial b} = 0$ de donde se obtienen las ecuaciones:

$$\text{Coeficiente de regresión } b = \frac{S_{xy}}{S_x^2} = \frac{\text{Cov}(x, y)}{\text{Var}(x)} = \frac{\frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n}}{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \frac{\frac{\sum x_i y_i}{n} - \bar{x}\bar{y}}{\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$\text{Coeficiente de correlación } r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Incertidumbres

$$\text{Una medida general de la incertidumbre del ajuste } S^2 = \frac{\sum [y_i - (bx_i + a)]^2}{n - 2}$$

$$S(b) \text{ es la incertidumbre típica de } b \quad S(b)^2 = \frac{n \cdot s^2}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$S(a) \text{ es la incertidumbre típica de } a \quad S(a)^2 = \frac{s^2 \sum x_i^2}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$\text{Pendiente o coeficiente de correlación } b \pm S(b) \quad \text{Ordenada en el origen } a \pm S(a)$$

$$\text{Interpretación del coeficiente de correlación } r^2 = 1 - \frac{S^2}{S_y^2}$$

$r = 0$ no hay correlación lineal entre las dos variables. El modelo no explica la relación entre variables.
 $|r| = 1$ La correlación lineal es perfecta. No hay dispersión de los puntos en torno a la recta $S^2 = 0$.
 Para $0 < r < +1$ correlación positiva $0 < b$ y para $-1 < r < 0$ correlación negativa $0 > b$

La correlación lineal es más fuerte cuanto más se aproxime a 1 o a -1 y la correlación lineal es más débil cuanto más se aproxime a cero. El coeficiente de correlación lineal r suele darse con dos o tres cifras.

Fuente de información: *Evaluación de datos de medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida del CEM*

Apéndice F

Listado de frases R y S, riesgos y consejos

Fuente original *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)*.

F.1. Frases R simples

- R1 Explosivo en estado seco.
- R2 Riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.
- R3 Alto riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.
- R4 Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles.
- R5 Peligro de explosión en caso de calentamiento.
- R6 Peligro de explosión, en contacto o sin contacto con el aire.
- R7 Puede provocar incendios.
- R8 Peligro de fuego en contacto con materias combustibles.
- R9 Peligro de explosión al mezclar con materias combustibles.
- R10 Inflamable.
- R11 Fácilmente inflamable.
- R12 Extremadamente inflamable.
- R14 Reacciona violentamente con el agua.
- R15 Reacciona con el agua liberando gases extremadamente inflamables.
- R16 Puede explosionar en mezcla con sustancias comburentes.
- R17 Se inflama espontáneamente en contacto con el aire.
- R18 Al usarlo pueden formarse mezclas airevapor explosivas/inflamables.
- R19 Puede formar peróxidos explosivos.

- R20 Nocivo por inhalación.
- R21 Nocivo en contacto con la piel.
- R22 Nocivo por ingestión.
- R23 Tóxico por inhalación.
- R24 Tóxico en contacto con la piel.
- R25 Tóxico por ingestión.
- R26 Muy tóxico por inhalación.
- R27 Muy tóxico en contacto con la piel.
- R28 Muy tóxico por ingestión.
- R29 En contacto con agua libera gases tóxicos.
- R30 Puede inflamarse fácilmente al usarlo.
- R31 En contacto con ácidos libera gases tóxicos.
- R32 En contacto con ácidos libera gases muy tóxicos.
- R33 Peligro de efectos acumulativos.
- R34 Provoca quemaduras.
- R35 Provoca quemaduras graves.
- R36 Irrita los ojos.
- R37 Irrita las vías respiratorias.
- R38 Irrita la piel.
- R39 Peligro de efectos irreversibles muy graves.
- R40 Posibles efectos cancerígenos
- R41 Riesgo de lesiones oculares graves.
- R42 Posibilidad de sensibilización por inhalación.
- R43 Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.
- R44 Riesgo de explosión al calentarlo en ambiente confinado.
- R45 Puede causar cáncer.
- R46 Puede causar alteraciones genéticas hereditarias.
- R48 Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada.
- R49 Puede causar cáncer por inhalación.
- R50 Muy tóxico para los organismos acuáticos.
- R51 Tóxico para los organismos acuáticos.
- R52 Nocivo para los organismos acuáticos.

- R53 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R54 Tóxico para la flora.
- R55 Tóxico para la fauna.
- R56 Tóxico para los organismos del suelo.
- R57 Tóxico para las abejas.
- R58 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente.
- R59 Peligroso para la capa de ozono.
- R60 Puede perjudicar la fertilidad.
- R61 Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- R62 Posible riesgo de perjudicar la fertilidad.
- R63 Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- R64 Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna.
- R65 Nocivo. Si se ingiere puede causar daño pulmonar
- R66 La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel
- R67 La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo
- R68 Posibilidad de efectos irreversibles

F.2. Combinación de frases R

- R14/15 Reacciona violentamente con el agua, liberando gases extremadamente inflamables.
- R15/29 En contacto con el agua, libera gases tóxicos y extremadamente inflamables.
- 20/21 Nocivo por inhalación y en contacto con la piel.
- 20/22 Nocivo por inhalación y por ingestión.
- 20/21/22 Nocivo por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- 21/22 Nocivo en contacto con la piel y por ingestión.
- 23/24 Tóxico por inhalación y en contacto con la piel.
- 23/25 Tóxico por inhalación y por ingestión.
- 23/24/25 Tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- 24/25 Tóxico en contacto con la piel y por ingestión.
- 26/27 Muy tóxico por inhalación y en contacto con la piel.
- 26/28 Muy tóxico por inhalación y por ingestión.
- 26/27/28 Muy tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- 27/28 Muy tóxico en contacto con la piel y por ingestión.

- 36/37 Irrita los ojos y las vías respiratorias.
- 36/38 Irrita los ojos y la piel.
- 36/37/38 Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.
- 37/38 Irrita las vías respiratorias y la piel.
- 39/23 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación.
- 39/24 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.
- 39/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión.
- 39/23/24 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel.
- 39/23/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación e ingestión.
- 39/24/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión.
- 39/23//24/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- 39/26 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación.
- 39/27 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.
- 39/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión.
- 39/26/27 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel.
- 39/26/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación e ingestión.
- 39/27/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión.
- 39/26/27/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- 42/43 Posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel.
- 48/20 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.
- 48/21 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.
- 48/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.
- 48/20/21 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel.
- 48/20/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión.
- 48/21/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión.

- 48/20/21/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- R48/23 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.
- R48/24 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.
- R48/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.
- R48/23/24 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel.
- R48/23/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión.
- R48/24/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión.
- R48/23/24/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- R50/53 Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R51/53 Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R52/53 Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R68/20 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación.
- R68/21 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles en contacto con la piel.
- R68/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por ingestión.
- R68/20/21 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación y contacto con la piel.
- R68/20/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación e ingestión.
- R68/21/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles en contacto con la piel e ingestión.
- R68/20/21/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación, contacto con la piel e ingestión.

F.3. Frases S simples

- S1 Consérvese bajo llave.
- S2 Manténgase fuera del alcance de los niños.
- S3 Consérvese en lugar fresco.
- S4 Manténgase lejos de locales habitados.
- S5 Consérvese en ... (líquido apropiado a especificar por el fabricante).
- S6 Consérvese en ... (gas inerte a especificar por el fabricante).
- S7 Manténgase el recipiente bien cerrado.
- S8 Manténgase el recipiente en lugar seco.
- S9 Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado.
- S12 No cerrar el recipiente herméticamente.
- S13 Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.
- S14 Consérvese lejos de ... (materiales incompatibles a especificar por el fabricante).
- S15 Conservar alejado del calor.
- S16 Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas No fumar.
- S17 Manténgase lejos de materiales combustibles.
- S18 Manipúlese y ábrase el recipiente con prudencia.
- S20 No comer ni beber durante su utilización.
- S21 No fumar durante su utilización.
- S22 No respirar el polvo.
- S23 No respirar los gases/humos/vapores/aerosoles [denominación(es) adecuada(s) a especificar por el fabricante].
- S24 Evítese el contacto con la piel.
- S25 Evítese el contacto con los ojos.
- S26 En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.
- S27 Quítese inmediatamente la ropa manchada o salpicada.
- S28 En caso de contacto con la piel, lávese inmediata y abundantemente con ... (productos a especificar por el fabricante).
- S29 No tirar los residuos por el desagüe.
- S30 No echar jamás agua a este producto.
- S33 Evítese la acumulación de cargas electrostáticas.
- S35 Elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles.

- S36 Úsele indumentaria protectora adecuada.
- S37 Úsenle guantes adecuados.
- S38 En caso de ventilación insuficiente, úsele equipo respiratorio adecuado.
- S39 Úsele protección para los ojos/la cara.
- S40 Para limpiar el suelo y los objetos contaminados por este producto, úsele ... (a especificar por el fabricante).
- S41 En caso de incendio y/o de explosión, no respire los humos.
- S42 Durante las fumigaciones/pulverizaciones, úsele equipo respiratorio adecuado [denominación(es) adecuada(s) a especificar por el fabricante].
- S43 En caso de incendio, utilizar ... (los medios de extinción los debe especificar el fabricante). (Si el agua aumenta el riesgo, se deberá añadir: "No usar nunca agua").
- S45 En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrole la etiqueta).
- S46 En caso de ingestión, acúdase inmediatamente al médico y muéstrole la etiqueta o el envase.
- S47 Consérvese a una temperatura no superior a ... °C (a especificar por el fabricante).
- S48 Consérvese húmedo con ... (medio apropiado a especificar por el fabricante).
- S49 Consérvese únicamente en el recipiente de origen.
- S50 No mezclar con ... (a especificar por el fabricante).
- S51 Úsele únicamente en lugares bien ventilados.
- S52 No usar sobre grandes superficies en locales habitados.
- S53 Evítese la exposición recábense instrucciones especiales antes del uso.
- S56 Elimínense esta sustancia y su recipiente en un punto de recogida pública de residuos especiales o peligrosos.
- S57 Utilícese un envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente.
- S59 Remitirse al fabricante o proveedor para obtener información sobre su recuperación/reciclado.
- S60 Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos.
- S61 Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.
- S62 En caso de ingestión no provocar el vómito: acúdase inmediatamente al médico y muéstrole la etiqueta o el envase.
- S63 En caso de accidente por inhalación, alejar a la víctima fuera de la zona contaminada y mantenerla en reposo
- S64 En caso de ingestión, lavar la boca con agua (solamente si la persona está consciente)

F.4. Combinación de frases S

- S1/2 Consérvese bajo llave y manténgase fuera del alcance de los niños.
- S3/7 Consérvese el recipiente bien cerrado y en lugar fresco.
- S3/9/14 Consérvese en lugar fresco y bien ventilado y lejos de ... (materiales incompatibles, a especificar por el fabricante).
- S3/9/14/49 Consérvese únicamente en el recipiente de origen, en lugar fresco y bien ventilado y lejos de ... (materiales incompatibles, a especificar por el fabricante).
- S3/9/49 Consérvese únicamente en el recipiente de origen, en lugar fresco y bien ventilado.
- S3/14 Consérvese en lugar fresco y lejos de ... (materiales incompatibles, a especificar por el fabricante).
- S7/8 Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar seco.
- S7/9 Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar bien ventilado.
- S7/47 Manténgase el recipiente bien cerrado y consérvese a una temperatura no superior a ... °C (a especificar por el fabricante).
- S20/21 No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización.
- S24/25 Evítese el contacto con los ojos y la piel.
- S27/28 Después del contacto con la piel quítese inmediatamente toda la ropa manchada.
- S29/35 No tirar los residuos por el desagüe. Elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles.
- S29/56 No tirar los residuos por el desagüe. Elimínese esa sustancia y su recipiente en un punto d recogida
- pública de residuos especiales o peligrosos.
- S36/37 Úsense indumentaria y guantes de protección adecuados.
- S36/37/39 Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara.
- S36/39 Úsense indumentaria adecuada y protección para los ojos/la cara.
- S37/39 Úsense guantes adecuados y protección para los ojos/la cara.
- S47/49 Consérvese únicamente en el recipiente de origen y a temperatura no superior a ... °C (a especificar por el fabricante).

